
POLYMER ENGINEERING

Kurzfassung für Studenten in Maschinenelemente und für Schüler
IPEK, Karlsruher Institut für Technologie, 18. Juni und 25. Juni 2015,
14 – 15.30 Uhr Daimler/Benz Hörsaal, Geb. 10.21

Peter Eyerer

www.eyerer-peter.de

Fraunhofer-Institut für
Chemische Technologie

www.ict.fraunhofer.de

TheoPrax

www.theo-prax.de

POLYMER ENGINEERING

GLIEDERUNG

Teil 1 am 18. Juni 2015

- **Einführung**
- Begriffsdefinitionen, Einteilungen
- Vergleich Metalle – Kunststoffe
 - Synthese, Struktur, Aufbauprinzipien
 - Eigenschaften von Kunststoffen
 - Verarbeitung von Kunststoffen
 - Verarbeitungseinflüsse

Teil 2 am 25. Juni 2015

- Gestalten von Kunststoffbauteilen
- Anwendungsbeispiel Straßenleuchte
- Biopolymere
- Recycling, Entsorgung
- Zusammenfassung zu Biopolymeren und Polymer Engineering

Umweltgerechtes Polymer und Produkt Engineering

Verzahnung von Teilschritten

- Werkstoffherstellung, z. B. Legierungs- oder Polymerchemie, Aufbereitungstechnik
- Werkstoffe, Verbundwerkstoffe, Werkstoffverbunde, Werkstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen
- Verarbeitung, Verfahrenstechnik
- Design, Bauteilkonstruktion (CAD)
- Werkzeugtechnik (Rapid Tooling RTT), Prototypen (Rapid Prototyping RPT)
- Oberflächentechnik
- Fertigungstechnik (CIM, PIUS, RM), Logistik, Automation, Wirtschaftlichkeit, Kosten (LCC)
- Qualitätsmanagement (CAQ, PPS, TQM u.a.)

Simultaneous
Engineering
(CAE)

Umweltgerechtes Polymer und Produkt Engineering

Verzahnung von Teilschritten

- Produkt-Nutzung, Wartung, Reparatur, Lebensdauer, Wieder-/Weiterverwendung
- Wieder-/Weiterverwertung, Entsorgung, Umwelt
- Ganzheitliche Bilanzierung (CLB) } Software
Life Cycle Engineering (LCE) } GaBi 8
- Aus- und Weiterbildung (TheoPrax)

Vor- und Nachteile von Kunststoffen (Auswahl)

Vorteile

- leicht
- in der Regel beständig gegen Säuren
- wärmeisolierend
- schlagdämpfend
- Preiswert (Massenkunststoffe)
- gut zu verarbeiten
- Funktionen integrierbar
- recyclefähig (bevorzugt Thermoplaste weil wieder aufschmelzbar)
- Energierückgewinnung beim Verbrennen
- Langzeitbeständig, z. B. PVC hart

Vor- und Nachteile von Kunststoffen (Auswahl)

Nachteile

- geringe Festigkeit
- manchmal unbeständig gegen Lösemittel
- schalldurchlässig
- geringe Steifigkeit
- Emissionen (evtl. Risiko durch Additive)
- Sortenrein schwierig (teuer) zu trennen (gilt für alle Werkstoffe bei Wiederverwertung auf hohem Eigenschaftsniveau)
- geringere Wärmestabilität
- Duroplaste und Elastomere nicht aufschmelzbar
- erdölbasiert (nachteilig solange über 90 Prozent Erdölabhängigkeit bei Verkehr und Heizung/Strom/Energie)

POLYMER ENGINEERING

GLIEDERUNG

Teil 1 am 18. Juni 2015

- Einführung
- **Begriffsdefinitionen, Einteilungen**
- Vergleich Metalle – Kunststoffe
 - Synthese, Struktur, Aufbauprinzipien
 - Eigenschaften von Kunststoffen
 - Verarbeitung von Kunststoffen
 - Verarbeitungseinflüsse

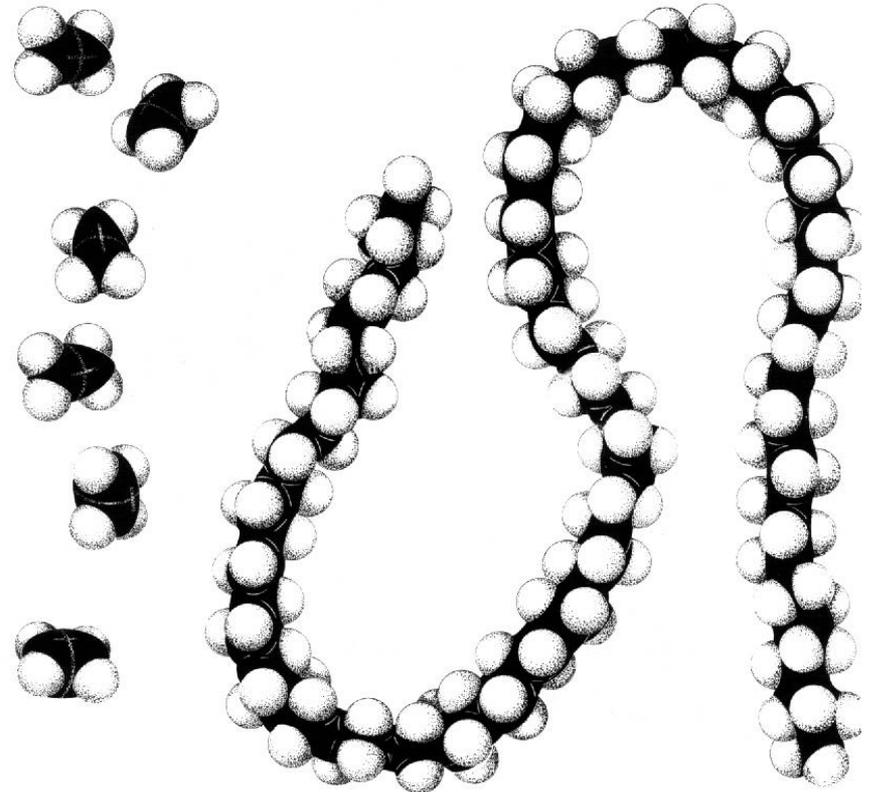
Teil 2 am 25. Juni 2015

- Gestalten von Kunststoffbauteilen
- Anwendungsbeispiel Straßenleuchte
- Biopolymere
- Recycling, Entsorgung
- Zusammenfassung zu Biopolymeren und Polymer Engineering

Begriffsdefinitionen, Einteilungen

Begriffe

Kunststoffe sind Werkstoffe; die Kunststoffkunde ist somit ein Teil der Werkstoffkunde. Werkstoffe sind für die Konstruktion nützliche feste Stoffe, die sich technisch, wirtschaftlich, umweltlich und physiologisch gut verarbeiten, anwenden und zurückgewinnen lassen.



Begriffsdefinitionen, Einteilungen

Kunststoffe sind

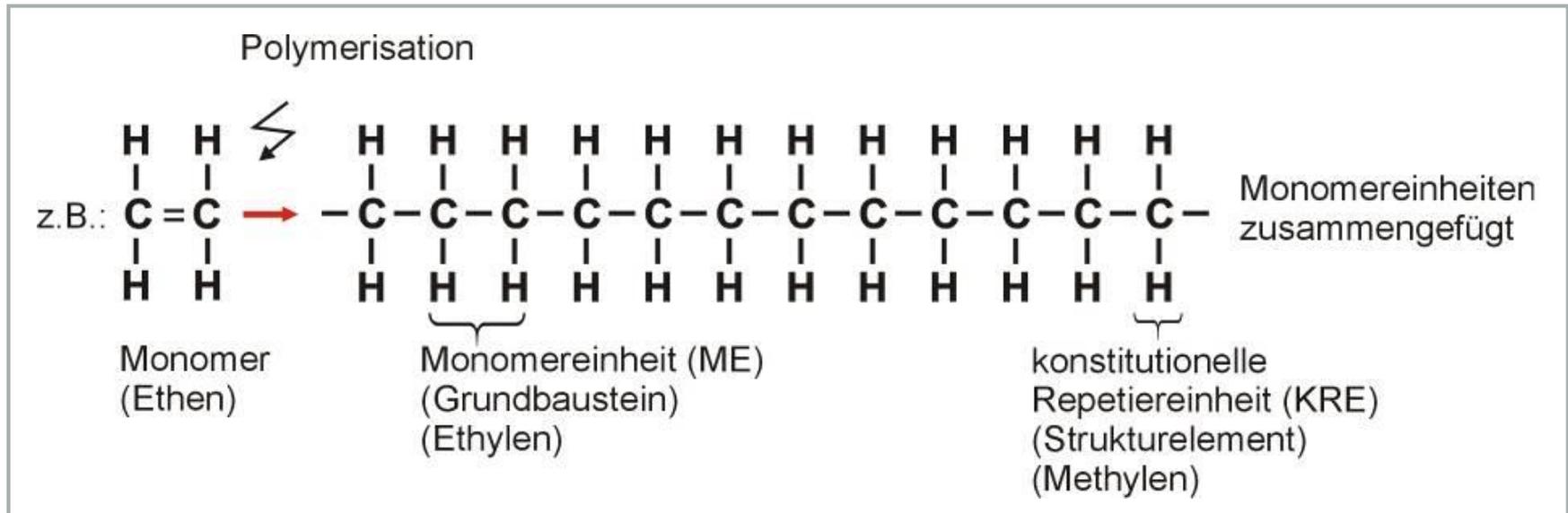
■ **makromolekular**

Riesenmolekül

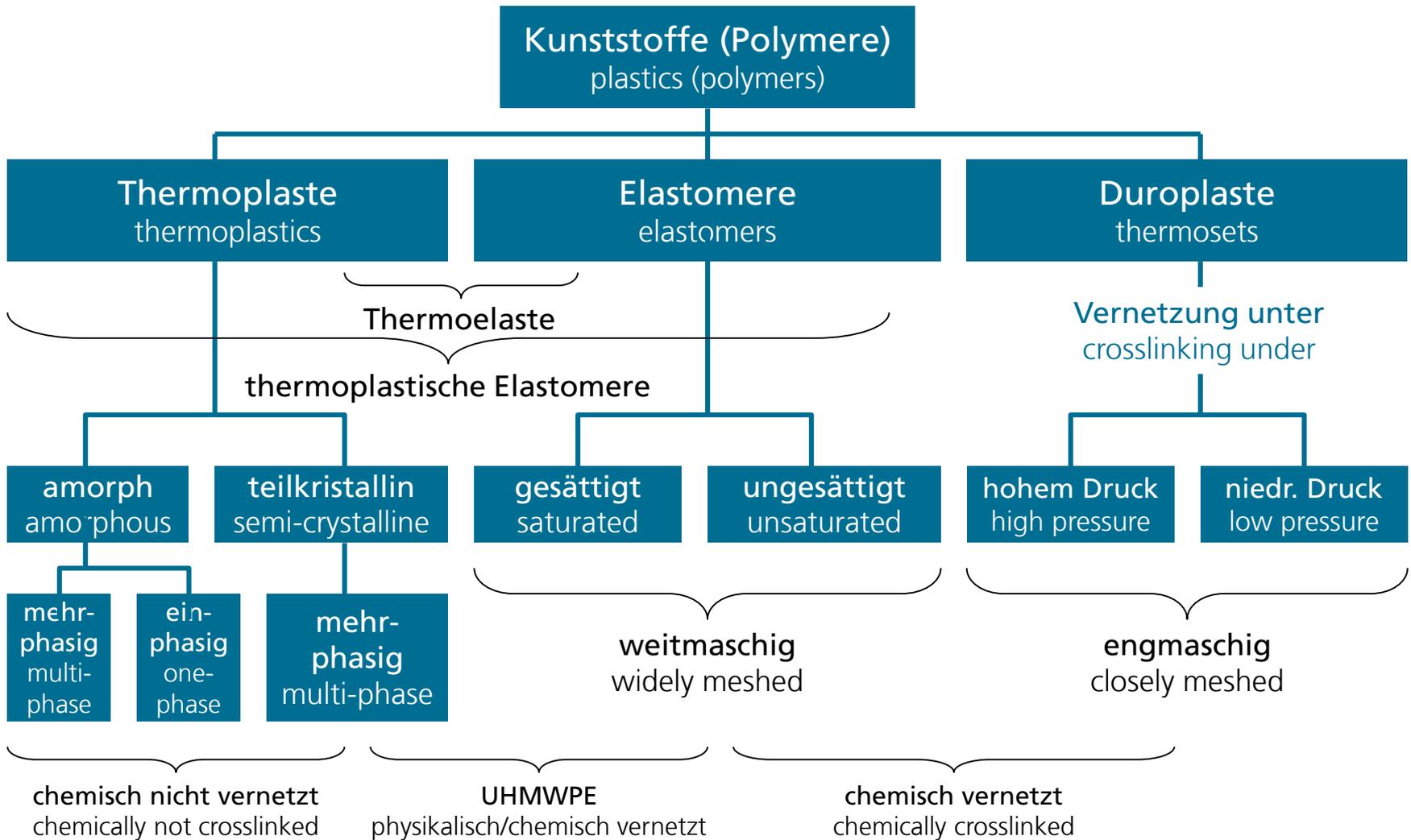
Molmasse $\geq 10^4$ g/mol

■ **hochpolymer**

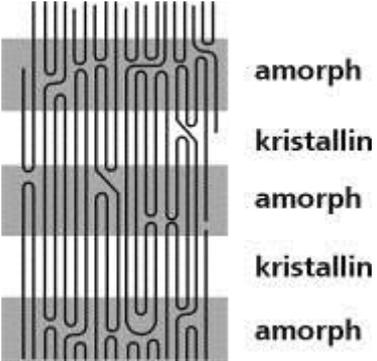
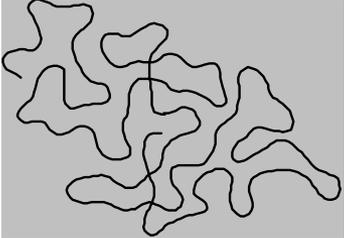
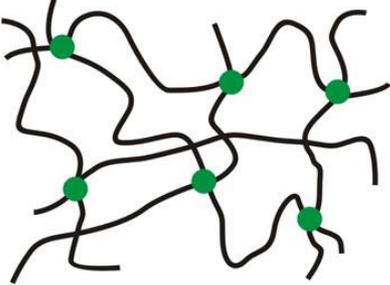
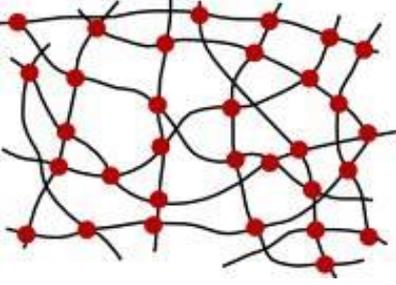
große Zahl sich wiederholender
(gleichartiger) Moleküle



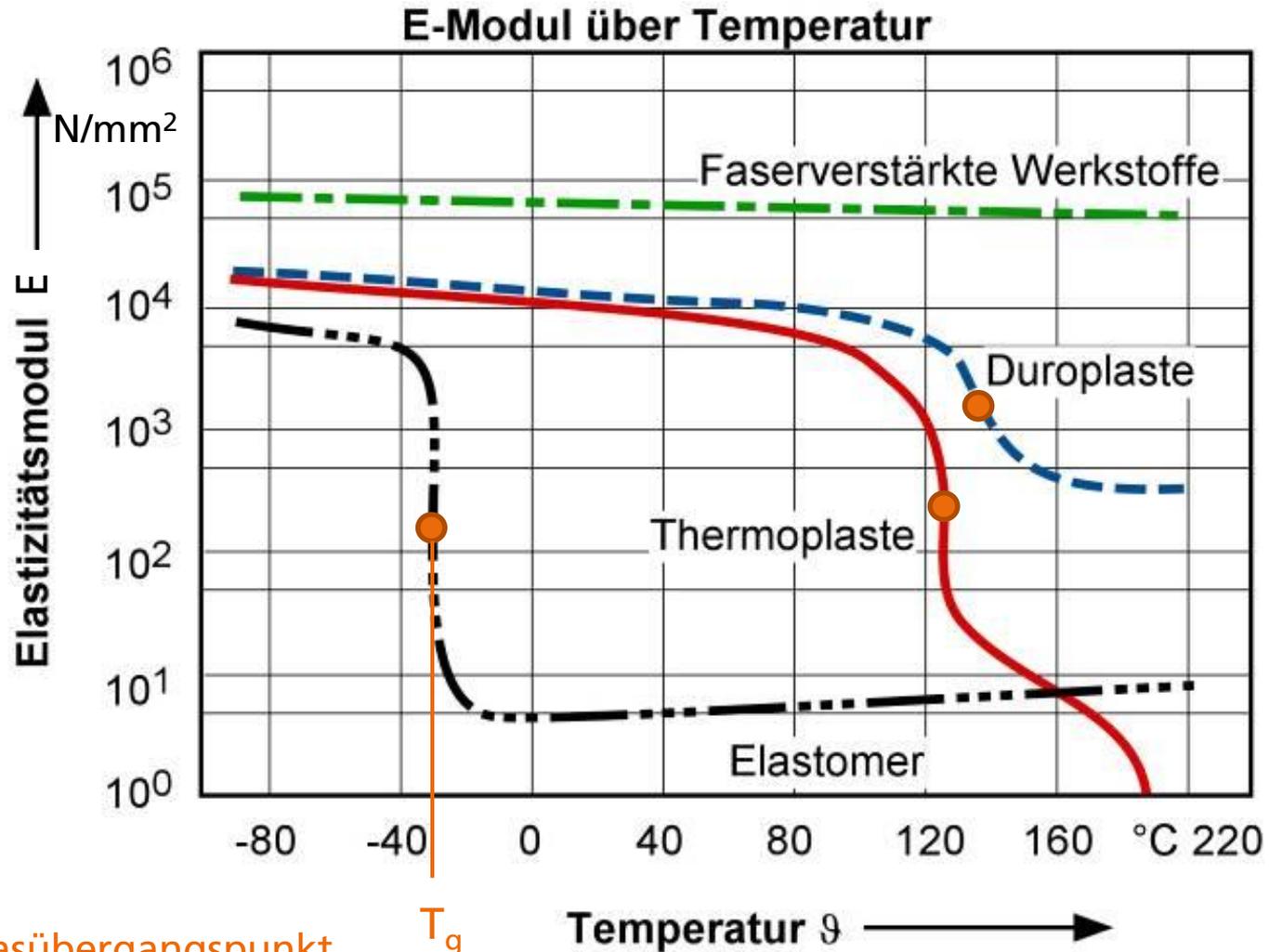
Einteilung der Kunststoffe



Strukturmodelle der Kunststoff-Hauptgruppen

Kunststoffgruppe	Thermoplaste unvernetzt	Elastomere schwach vernetztes weitmaschiges Netzwerk	Duroplaste stark vernetztes, engmaschiges Netzwerk
Struktur (Modell- vorstellungen räumlich!)	<p>teilkristallin</p>  <p>amorph kristallin amorph kristallin amorph</p> <p>amorph</p> 		

Kunststoffe: Mechanische Eigenschaften



T_g ... Glasübergangspunkt

POLYMER ENGINEERING

Teil 1 am 18. Juni 2015

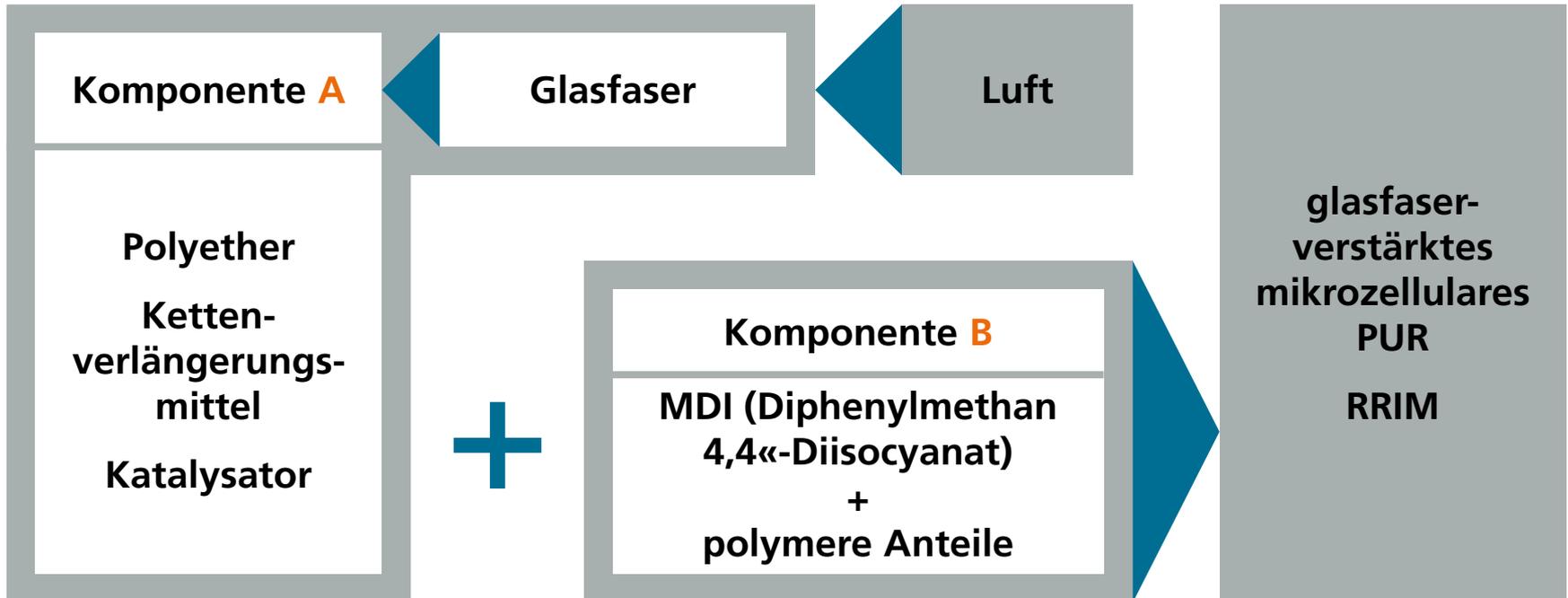
- Einführung
- Begriffsdefinitionen, Einteilungen
- **Vergleich Metalle – Kunststoffe**
 - Synthese, Struktur, Aufbauprinzipien
 - Eigenschaften von Kunststoffen
 - Verarbeitung von Kunststoffen
 - Verarbeitungseinflüsse

Teil 2 am 25. Juni 2015

- Gestalten von Kunststoffbauteilen
- Anwendungsbeispiel Straßenleuchte
- Biopolymere
- Recycling, Entsorgung
- Zusammenfassung zu Biopolymeren und Polymer Engineering

Synthese:

Beispielhafte Reaktion eines vernetzenden Polyurethans (PUR) kurzglasfaserverstärkt und partiell geschäumt



Entstehung eines Polyurethan-Schaumpilzes (Quelle: BASF Polyurethanes GmbH)

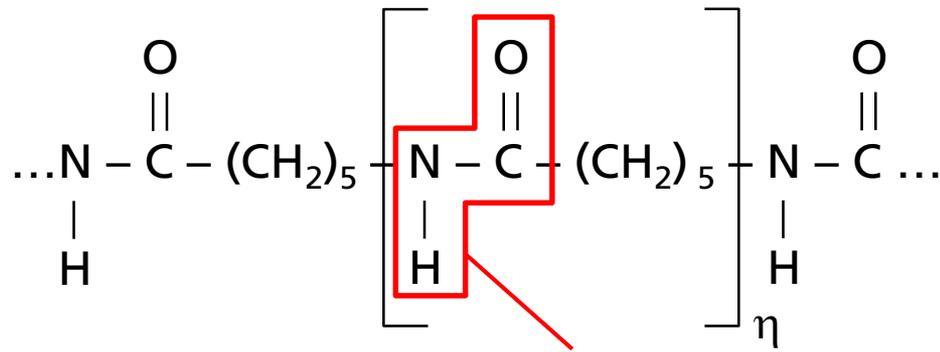


Soft nose aus PUR-RRIM lackiert (um 1985)



Polyamide (technischer Thermoplast)

■ Aliphatisch



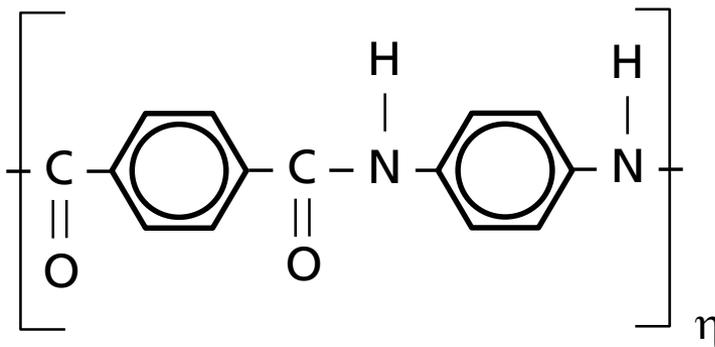
Amidgruppe

PA6 $(\text{CH}_2)_5$
PA11 $(\text{CH}_2)_{10}$
PA12 $(\text{CH}_2)_{11}$

T_g bei 20 °C

Handelsnamen:
Ultramid, Grillamid,
.....u.v.a.

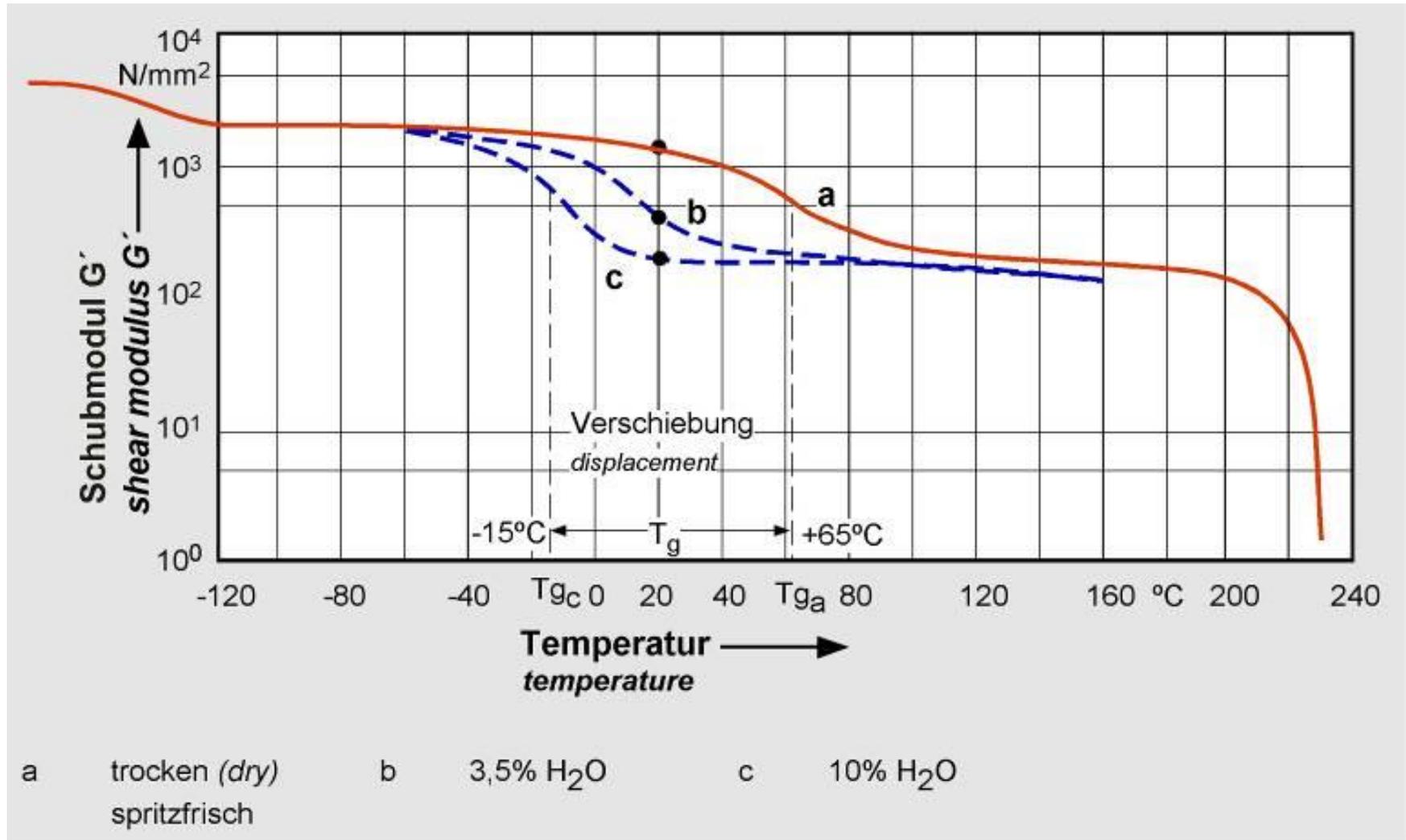
■ Aromatisch (para-Stellung)



T_g bei 290 °C

Handelsnamen:
Kevlar, Aramid

Schubmodul von Polyamid 6: Einflüsse Temperatur und Feuchte



Struktur: Beispiele für Atome oder Atomgruppen als Substituenten bei Thermoplasten (Auswahl)

Polyolefine	Polyethylen (PE) $\left[\begin{array}{cc} \text{H} & \text{H} \\ & \\ -\text{C} & -\text{C}- \\ & \\ \text{H} & \text{H} \end{array} \right]_n$	Polypropylen (PP) $\left[\begin{array}{cc} \text{H} & \text{H} \\ & \\ -\text{C} & -\text{C}- \\ & \\ \text{H} & \text{CH}_3 \end{array} \right]_n$	Polyisobutylen (PIB) $\left[\begin{array}{cc} \text{H} & \text{CH}_3 \\ & \\ -\text{C} & -\text{C}- \\ & \\ \text{H} & \text{CH}_3 \end{array} \right]_n$	Polybuten 1 (PB-1) $\left[\begin{array}{cc} \text{H} & \text{H} \\ & \\ -\text{C} & -\text{C}- \\ & \\ \text{H} & \text{CH}_2 \end{array} \right]_n$ $\begin{array}{c} \\ \text{CH}_3 \end{array}$
Vinylverbindungen	Polyvinylchlorid (PVC) $\left[\begin{array}{cc} \text{H} & \text{H} \\ & \\ -\text{C} & -\text{C}- \\ & \\ \text{H} & \text{Cl} \end{array} \right]_n$	Polyvinylidenchlorid (PVDC) $\left[\begin{array}{cc} \text{H} & \text{Cl} \\ & \\ -\text{C} & -\text{C}- \\ & \\ \text{H} & \text{Cl} \end{array} \right]_n$	Polyvinylkarbazol (PVK) $\left[\begin{array}{cc} \text{H} & \text{H} \\ & \\ -\text{C} & -\text{C}- \\ & \\ \text{H} & \text{N} \end{array} \right]_n$ 	Polystyrol (PS) Polyvinylalkohol (PVAL) R ... OH Polyvinylacetat (PVAC) $\begin{array}{c} \\ \text{O} \\ \\ \text{R} \dots \text{O} = \text{C} - \text{CH}_3 \end{array}$ Polyvinylether (PVE) $\begin{array}{c} \\ \text{R} \dots \text{O} - \text{CH}_3 \end{array}$

Struktur: Beispiele für Atome oder Atomgruppen als Substituenten bei Thermoplasten (Auswahl)

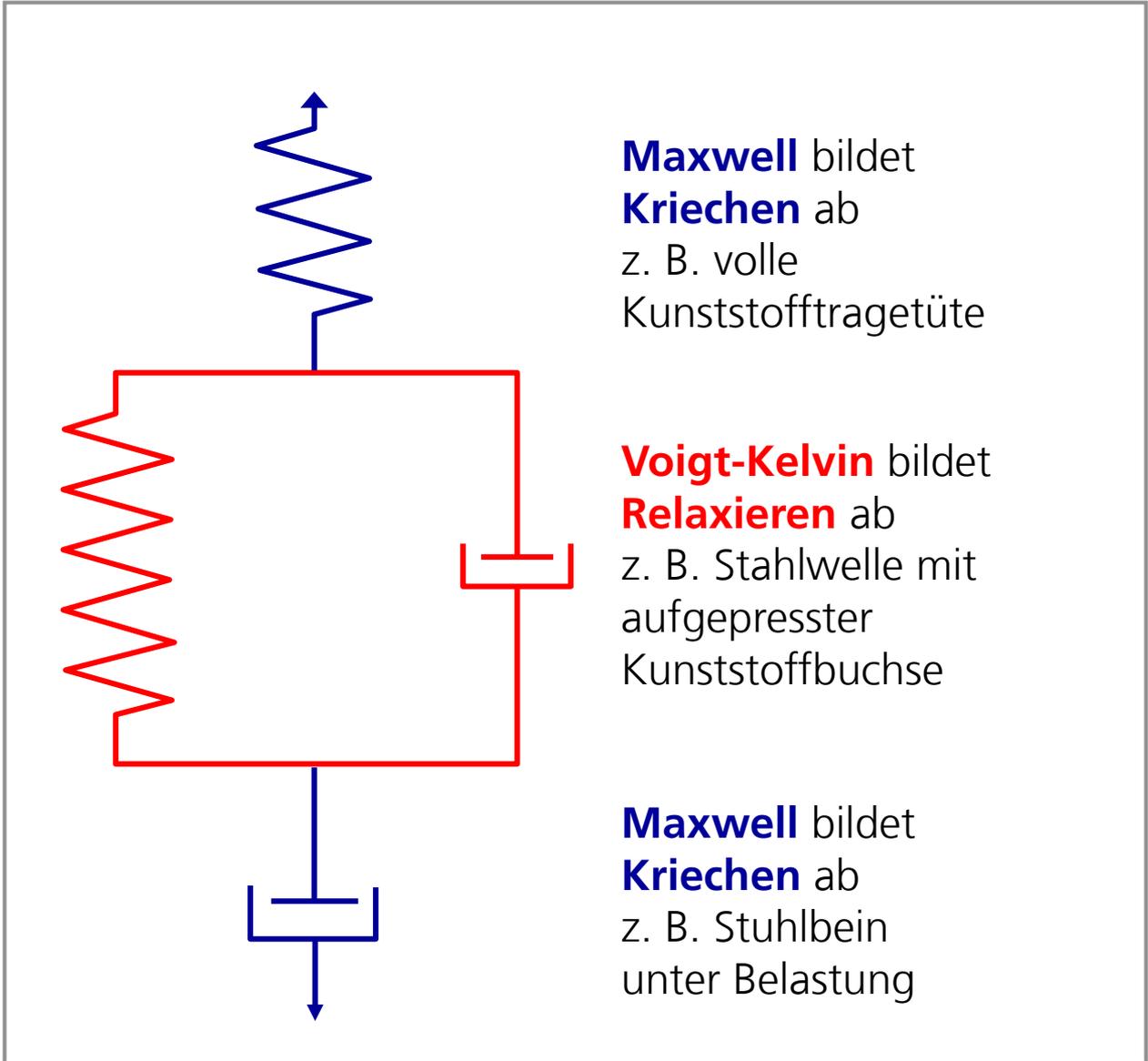
<p>Polyacrylate</p>	<p>Polymethylacrylat (PMA)</p> $\left[\begin{array}{cc} \text{H} & \text{H} \\ & \\ -\text{C} & -\text{C}- \\ & \\ \text{H} & \text{C} \\ & // \quad \\ & \text{O} \quad \text{O} \\ & \quad \\ & \quad \text{CH}_3 \end{array} \right]_n$	<p>Polymethylmethacrylat (PMMA)</p> $\left[\begin{array}{cc} \text{H} & \text{CH}_3 \\ & \\ -\text{C} & -\text{C}- \\ & \\ \text{H} & \text{C} \\ & // \quad \\ & \text{O} \quad \text{O} \\ & \quad \\ & \quad \text{CH}_3 \end{array} \right]_n$	<p>Polyacrylnitril (PAN)</p> $\left[\begin{array}{cc} \text{H} & \text{H} \\ & \\ -\text{C} & -\text{C}- \\ & \\ \text{H} & \text{C} \equiv \text{N} \end{array} \right]_n$	
<p>fluorhaltige Polymere</p>	<p>Polytetrafluorethylen (PTFE)</p> $\left[\begin{array}{cc} \text{F} & \text{F} \\ & \\ -\text{C} & -\text{C}- \\ & \\ \text{F} & \text{F} \end{array} \right]_n$	<p>Polychlortrifluorethylen (PCTFE)</p> $\left[\begin{array}{cc} \text{F} & \text{F} \\ & \\ -\text{C} & -\text{C}- \\ & \\ \text{F} & \text{Cl} \end{array} \right]_n$	<p>Polyvinylfluorid (PVF)</p> $\left[\begin{array}{cc} \text{H} & \text{H} \\ & \\ -\text{C} & -\text{C}- \\ & \\ \text{H} & \text{F} \end{array} \right]_n$	<p>Polyvinylidenfluorid (PVDF)</p> $\left[\begin{array}{cc} \text{H} & \text{F} \\ & \\ -\text{C} & -\text{C}- \\ & \\ \text{H} & \text{F} \end{array} \right]_n$

Eigenschaften

Beschreibung des zeitabhängigen Verformungsverhaltens von Polymeren

Burger- oder 4-Parameter-Modell

Versuch



Maxwell bildet **Kriechen** ab
z. B. volle Kunststofftragetüte

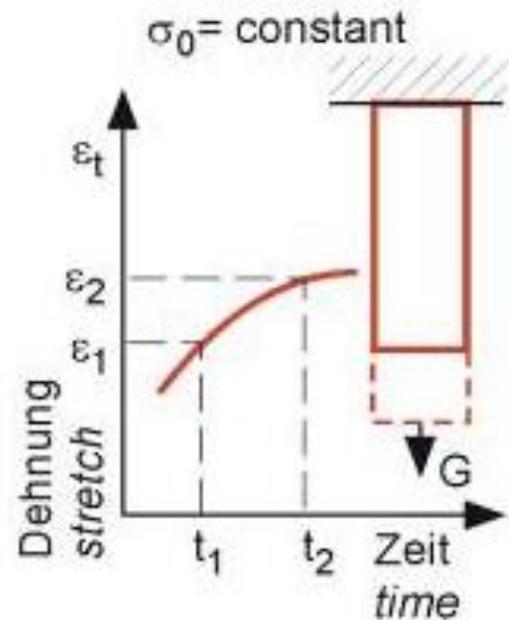
Voigt-Kelvin bildet **Relaxieren** ab
z. B. Stahlwelle mit aufgedrückter Kunststoffbuchse

Maxwell bildet **Kriechen** ab
z. B. Stuhlbein unter Belastung

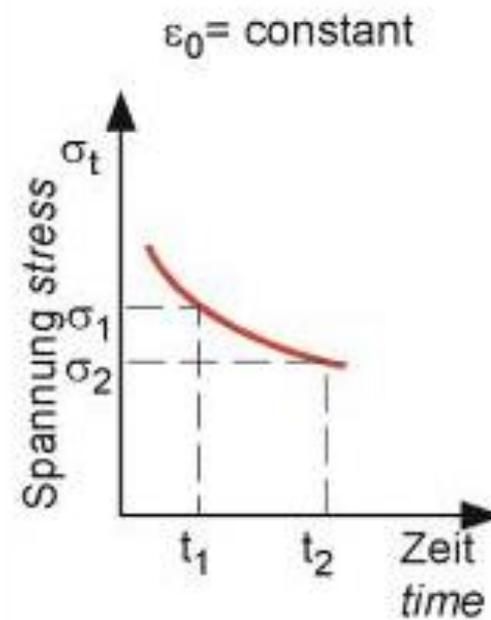
Kunststoffe: Einfluss Zeit

■ Kriechen / Relaxieren

Insbesondere bei $T > T_g$ zu beachten, je kleiner E (also je dehnfähiger), desto größer die Kriechneigung



Kriechen
creep

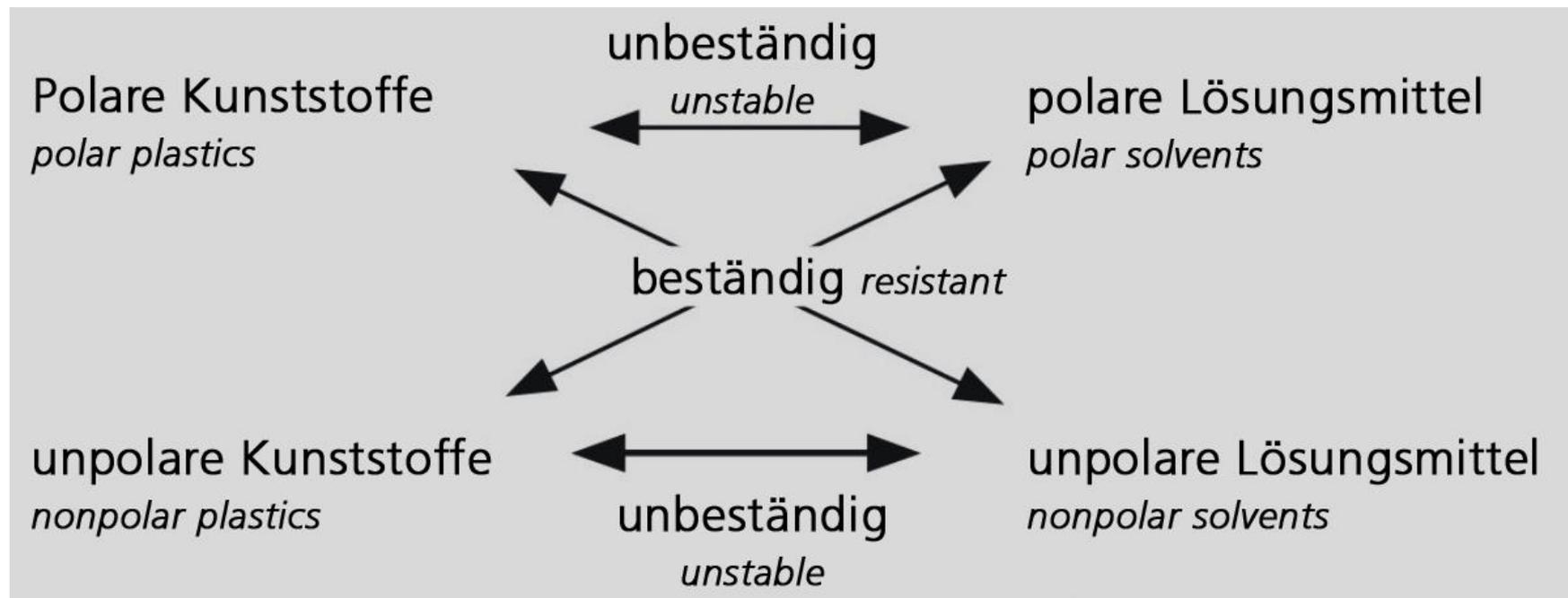


Relaxation
relaxation

Beständigkeit von Kunststoffen gegen Lösemittel

Regel:

Ähnliches löst Ähnliches! Oft sagt man auch: Gleiches löst Gleiches

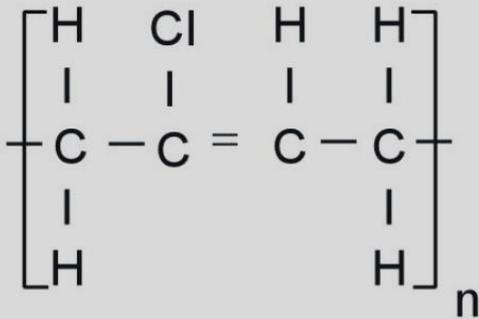


Beständigkeit von Kunststoffen gegen Lösemittel

Beispiele

Polarer Kunststoff: Polychlorbutadien (CR)

polar plastics: polychlorbutadien (CR)

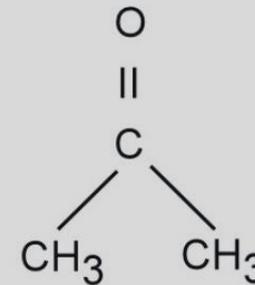


unbeständig
unstable



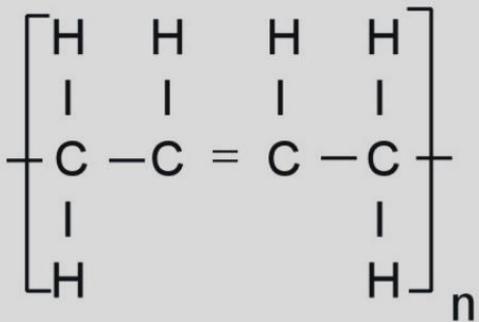
polares Lösungsmittel: Aceton

polar solvent: acetone



Unpolarer Kunststoff: Polybutadien (BR)

nonpolar plastics: polybutadiene (BR)

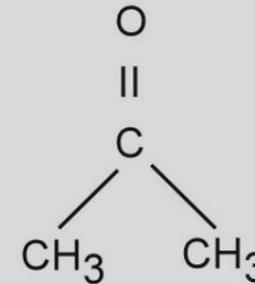


beständig
resistant



polares Lösungsmittel: Aceton

polar solvent: acetone



POLYMER ENGINEERING

Teil 1 am 18. Juni 2015

- Einführung
- Begriffsdefinitionen, Einteilungen
- Vergleich Metalle – Kunststoffe
 - Synthese, Struktur, Aufbauprinzipien
 - Eigenschaften von Kunststoffen
 - **Verarbeitung von Kunststoffen**
 - Verarbeitungseinflüsse

Teil 2 am 25. Juni 2015

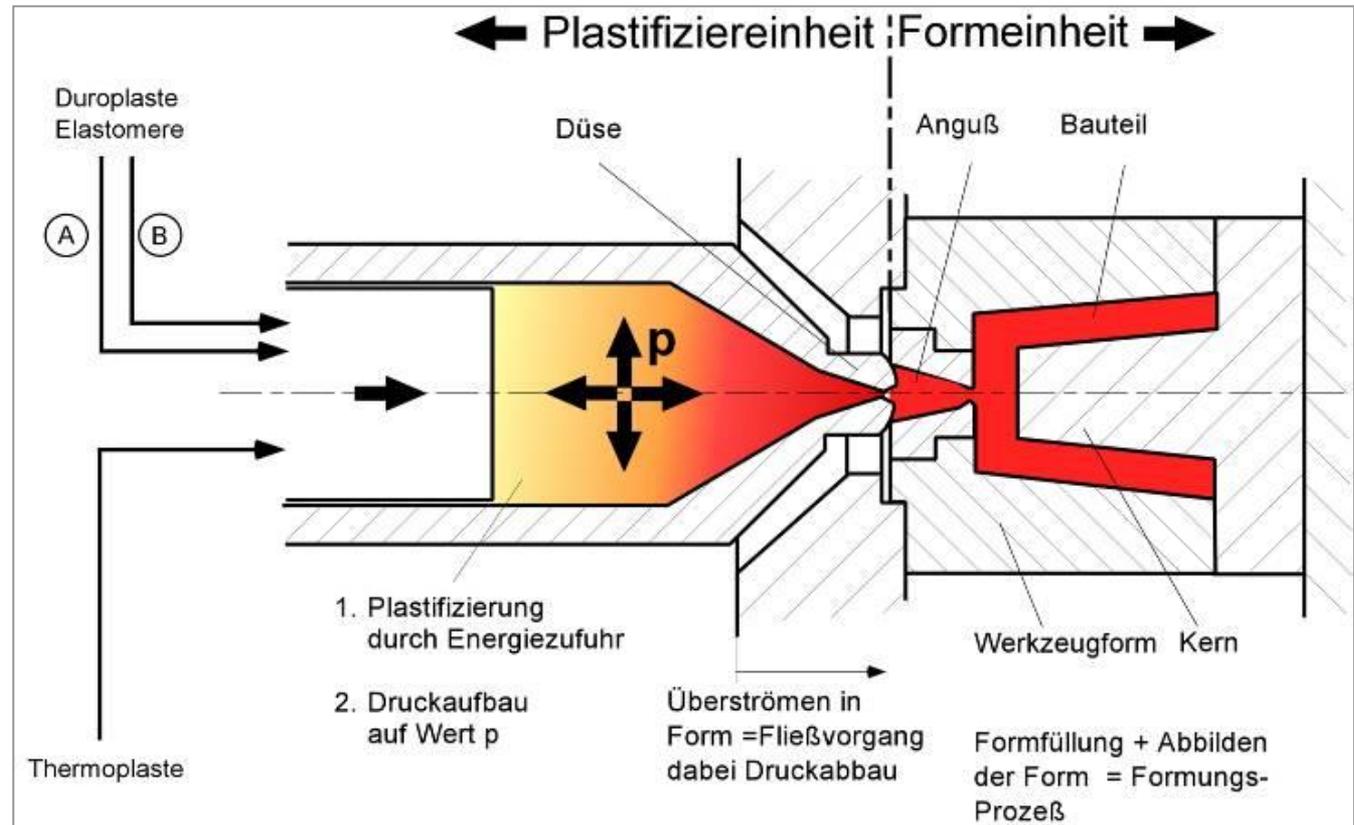
- Gestalten von Kunststoffbauteilen
- Anwendungsbeispiel Straßenleuchte
- Biopolymere
- Recycling, Entsorgung
- Zusammenfassung zu Biopolymeren und Polymer Engineering

Verarbeitung: Schema des Urformens von Kunststoffen

Werkzeug-
temperatur T_w :

Duroplaste,
Elastomere:
 $T_w \sim 200-300^\circ\text{C}$

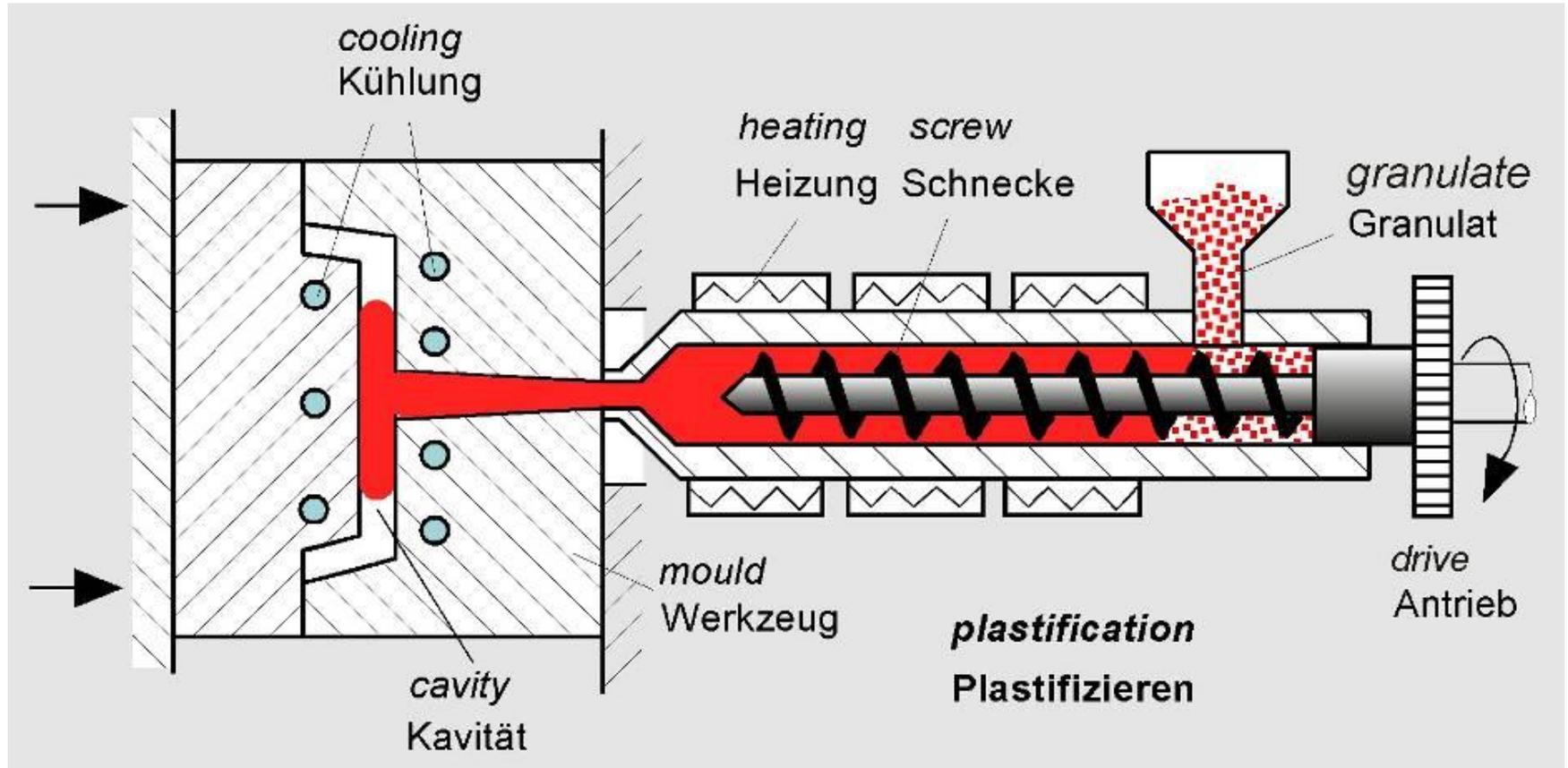
Thermoplaste:
 $T_w \sim 60-80^\circ\text{C}$



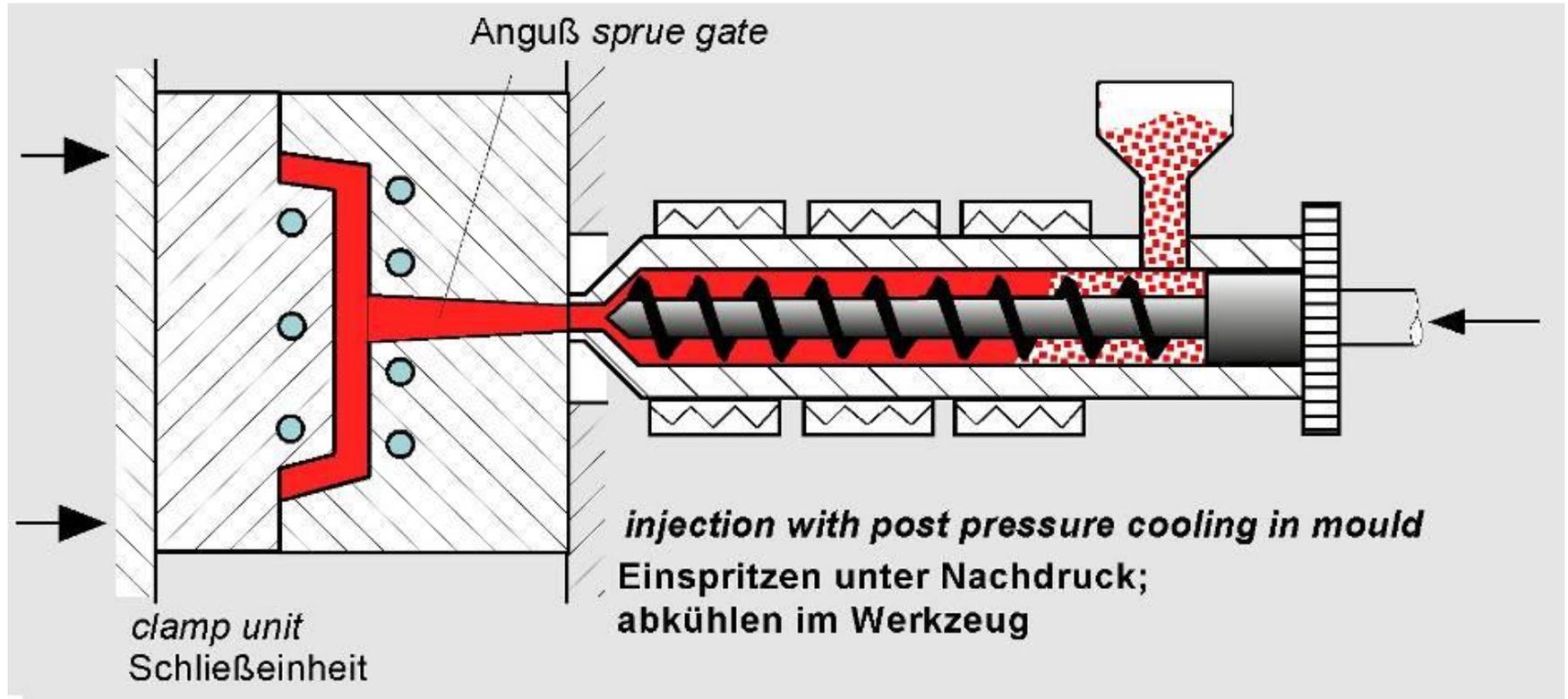
Spritzgussmaschine



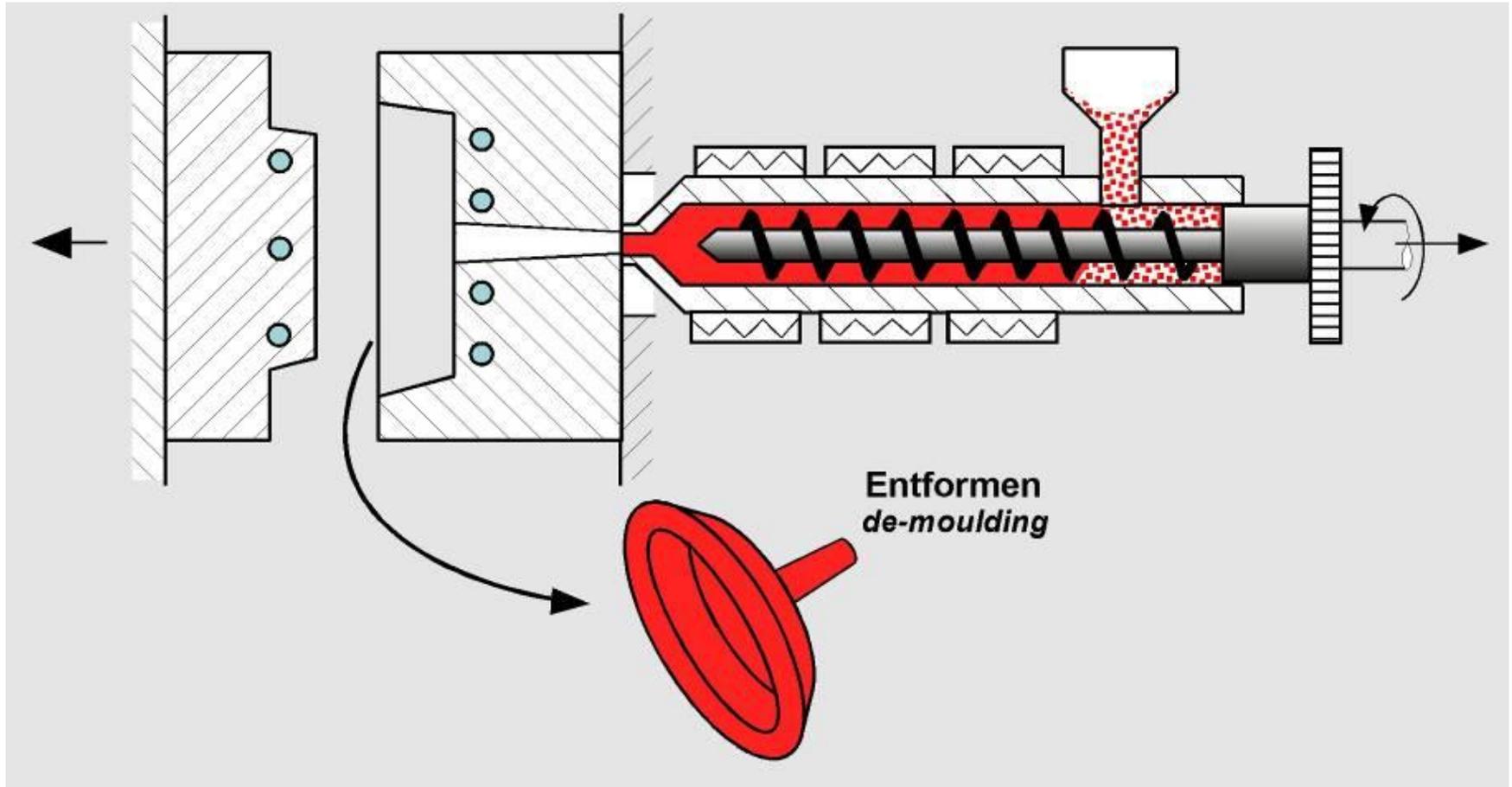
Schema des Spritzgießens von Thermoplasten



Schema des Spritzgießens von Thermoplasten

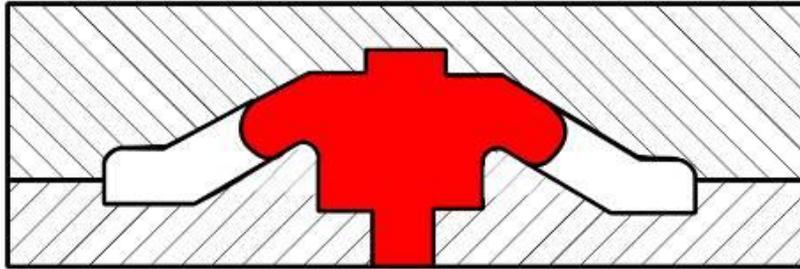


Schema des Spritzgießens von Thermoplasten

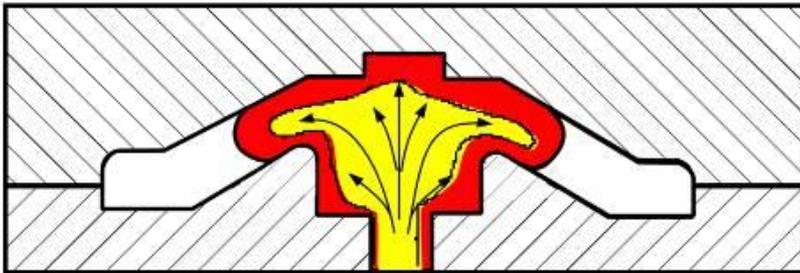


Gasinnendruck-Spritzgießen (gilt prinzipiell für 2-Komponenten-Spritzgießen: anstatt Gas einen anderen Thermoplast verwenden)

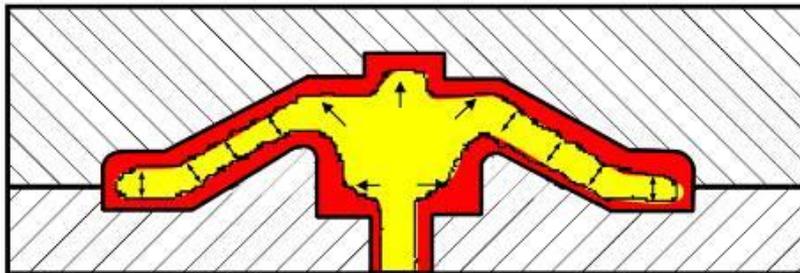
Schematische Wirkungsweise über „plastische Seele“



Massefüllphase
definiertes Schmelze-Volumen
einspritzen



Gasfüllphase
Über Kanal verdrängt Gas
die plastische Seele



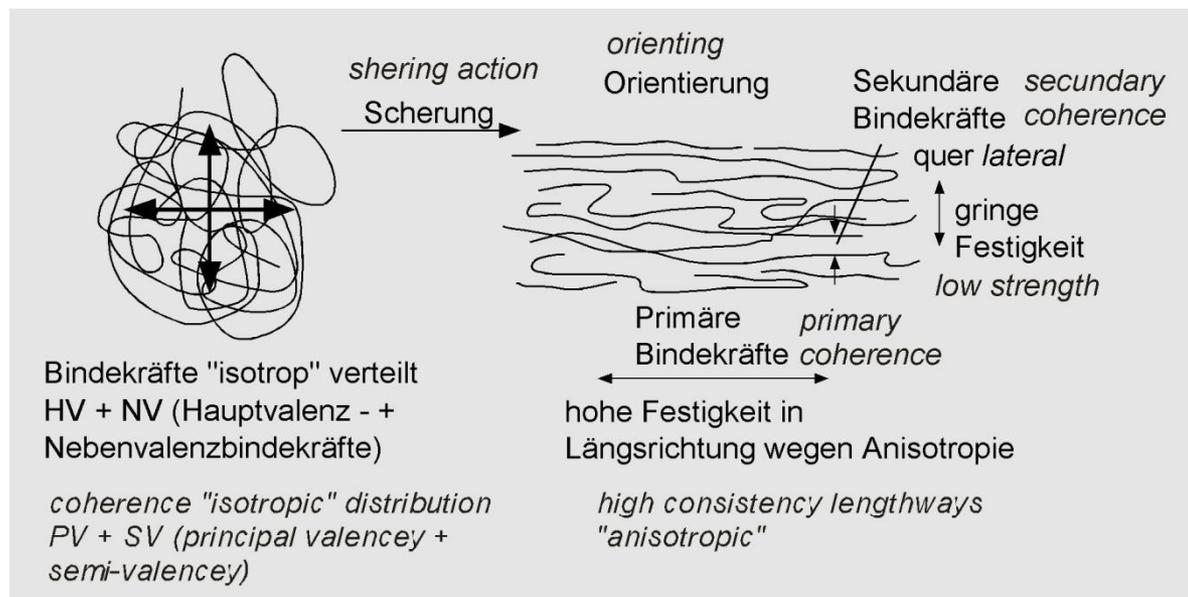
Gasnachdruckphase
Gasinnendruck (ca. 200 bar) bildet
Kavität präzise ab bei undefinierter
Hohlraumkontur

Verarbeitungseinflüsse: Einfluss von Moleküllorientierungen auf Eigenschaften (1)

Versuch: Kunststoffbecher zerdrücken

Warum bricht der Becher in Längsrichtung und nicht quer dazu?

Weil die Makromoleküle beim Umformen (ca. 120°C) durch Scherung orientiert werden und diese Orientierung beim schnellen Abkühlen eingefroren wird. Und weil die Bindekräfte innerhalb eines Makromoleküls ca. um den Faktor 20 höher sind als zwischen den Makromolekülen.



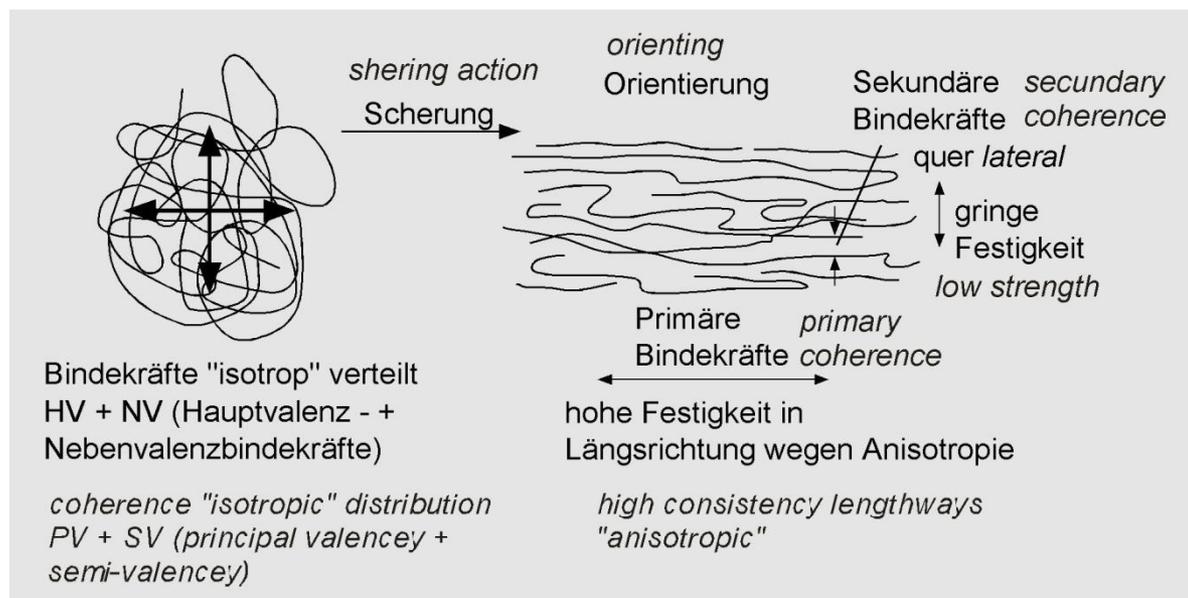
Verarbeitungseinflüsse:

Einfluss von Molekulantorientierungen auf Eigenschaften (2)

Versuch: Kunststoffbecher zerdrücken

Was passiert wenn man den Becher über T_g erwärmt?

Im Fall des tiefgezogenen Bechers warmgeformt aus der Halbzeug-Platte: Erinnerungsvermögen an die ebene Form der Halbzeug-Platte → orientierte Makromoleküle nehmen die entropisch günstige Gestalt wieder an, sobald die Beweglichkeit der Makromolekülketten (Ketten gleiten aneinander ab) dies zulässt (>> über T_g)



Einsatzgebiete von Faserverbundwerkstoffen

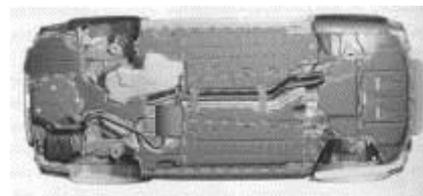
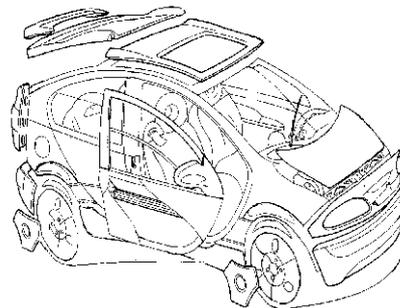
- Transport- und Bauindustrie
 - Luft- und Raumfahrt
 - Automobil
 - Schiffbau
 - Stütz- und Tragstrukturen

- Beispiel
 - Realisieren tragender und teiltragender Strukturen im Automobilbau

Reserveradmulde



Motorraum-Verkleidung



Unterboden-Verkleidung



Instrumenten-Tafel



Frontend

POLYMER ENGINEERING

Teil 1 am 18. Juni 2015

- Einführung
- Begriffsdefinitionen, Einteilungen
- Vergleich Metalle – Kunststoffe
 - Synthese, Struktur, Aufbauprinzipien
 - Eigenschaften von Kunststoffen
 - Verarbeitung von Kunststoffen
 - Verarbeitungseinflüsse

Teil 2 am 25. Juni 2015

- **Gestalten von Kunststoffbauteilen**
- Anwendungsbeispiel Straßenleuchte
- Biopolymere
- Recycling, Entsorgung
- Zusammenfassung zu Biopolymeren und Polymer Engineering

Zusatzstoffe: Additive für Polymere (Auswahl)

Aktivatoren

Alterungsschutzmittel

Antiabsetzmittel

Antiblockmittel

Antioxidantien

Antischaummittel

Antislipmittel

Antistatika

Beschleuniger

Biostabilisatoren

Brandschutzmittel

Dispergiermittel

Dissolver

Elastifikatoren

Emulgatoren

Extender

Farbmittel

Farbkonzentrate

Fließhilfsmittel

Formtrennmittel

Gleitmittel

Härter

Haftvermittler

Inhibitoren

Initiatoren

Keimbildner

Konservierungsmittel

Lichtschutzmittel

Lösemittel

Mastiziermittel

Metalldesaktivatoren

Nukleierungsmittel

Optische Aufheller

Ozonschutzmittel

Photoinitiatoren

Weichmacher u.v.m.

Gestaltung von Spritzgießteilen

- Verfahrensbedingte Gesetzmäßigkeiten
- Elemente der Formteilgestaltung
- Gestaltungsgrundsätze

Auszüge aus:

- Kunz, Michaeli, Herrlich, Land: Kunststoffe – Konstruktion (Loseblatt-Ausgabe). Augsburg, WEKA Media, April 2002 (Grundwerk 1999)
- Bode: Konstruktions-Atlas. Darmstadt, Hoppenstedt, 1991, 5. Auflage
- Eyerer et al. – Polymer Engineering. Berlin, Springer Verlag, 2014, 2. Aufl.

Verfahrensbedingte Gesetzmäßigkeiten bei Spritzgießteilen

Formfüllung

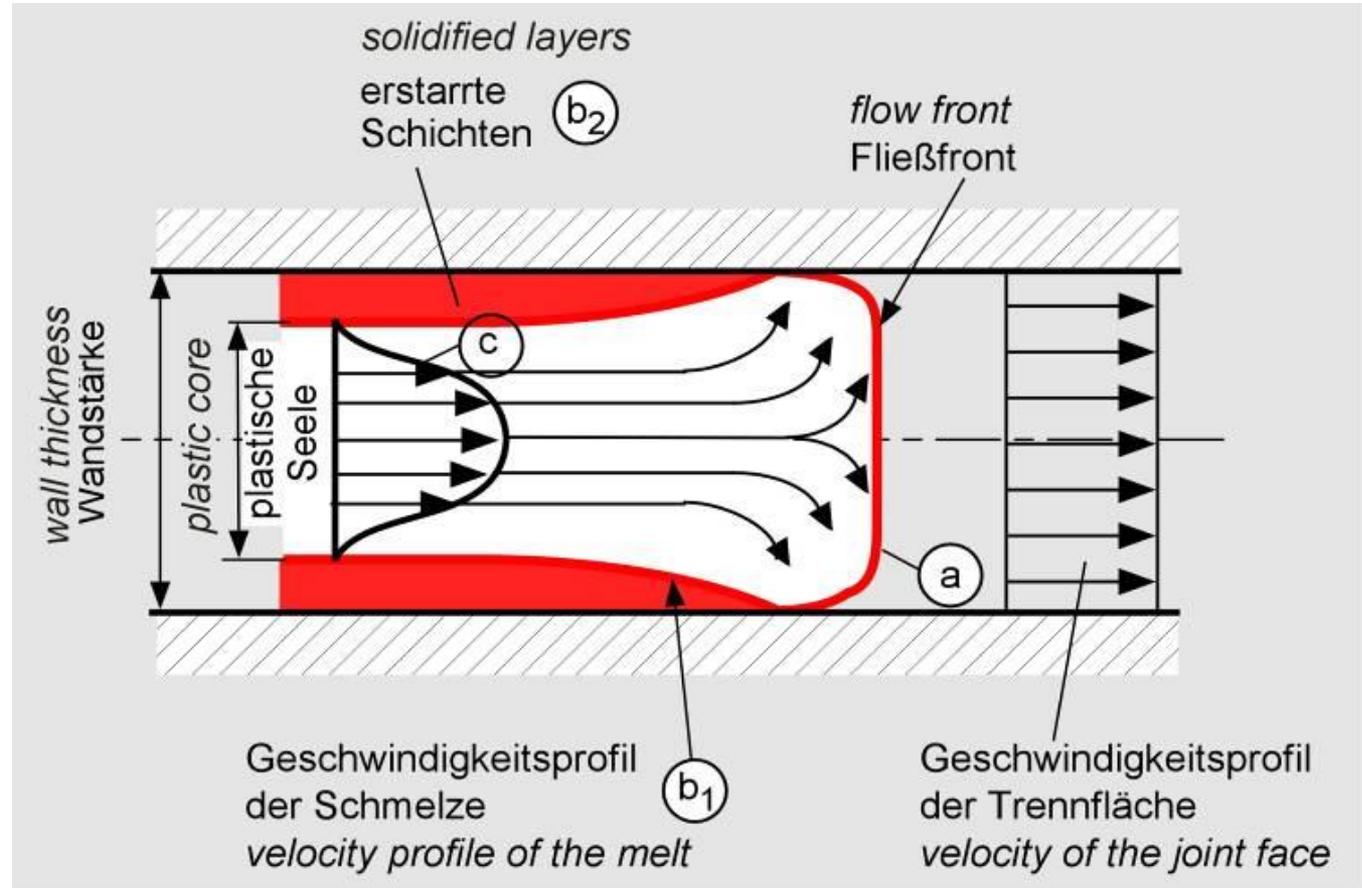
- Anguss
- Fließrichtung / Orientierungen
- Bindenähte
- Lufteinschlüsse

Schwindung und Verzug

- Abkühlung und Verzug
- Wanddicken und Masseanhäufungen
- Art und Lage des Angusses
- Steifigkeit des Formteils

Schema der Bewegungsvorgänge beim Füllvorgang

- a Schmelzefront
- b_1 Randschichten beginnen zu erstarren
- b_2 Randschichten sind bereits erstarrt
- c Schmelzprofil in »plastischer Seele«



Angussarten

Stangenanguss

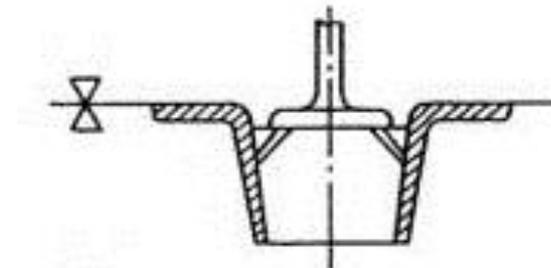
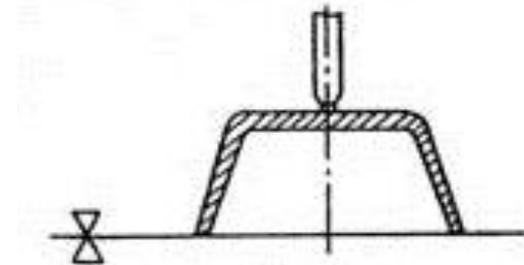
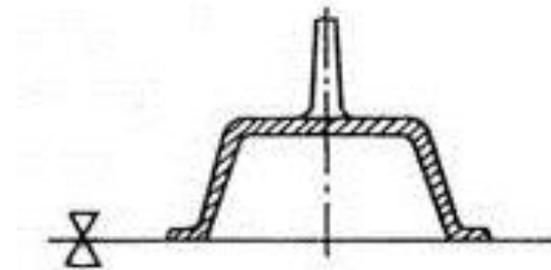
- für dickwandige rotations-symmetrische Teile
- beim Entfernen des Angusses Nacharbeit notwendig

Punktanguss

- automatisches Abtrennen des Angusses

Tunnelanguss

- Anguss wird beim Entformen abgeschert



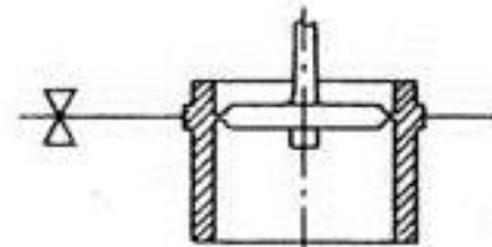
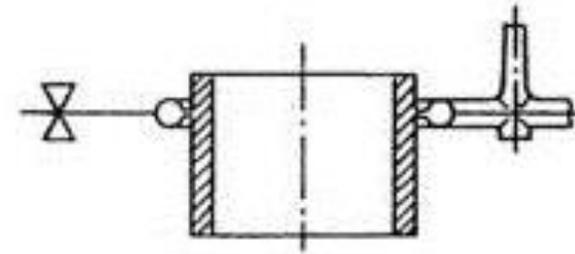
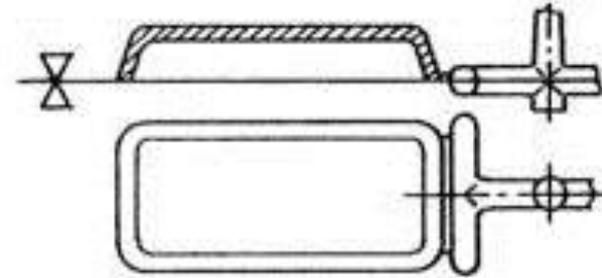
Angussarten

Bandanguss

- wenn Stangen- oder Punktanguss ungünstige Fließverhältnisse ergeben
- keine Bindenähte wie bei Mehrfachanguss

Ringanguss

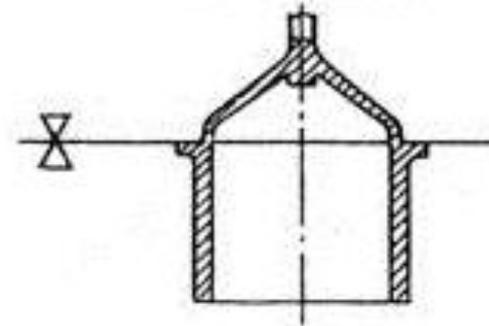
- Kranzanguss:
für Mehrfachwerkzeug
- Scheibenanguss:
für gleichmäßige,
symmetrische Formfüllung



Angussarten

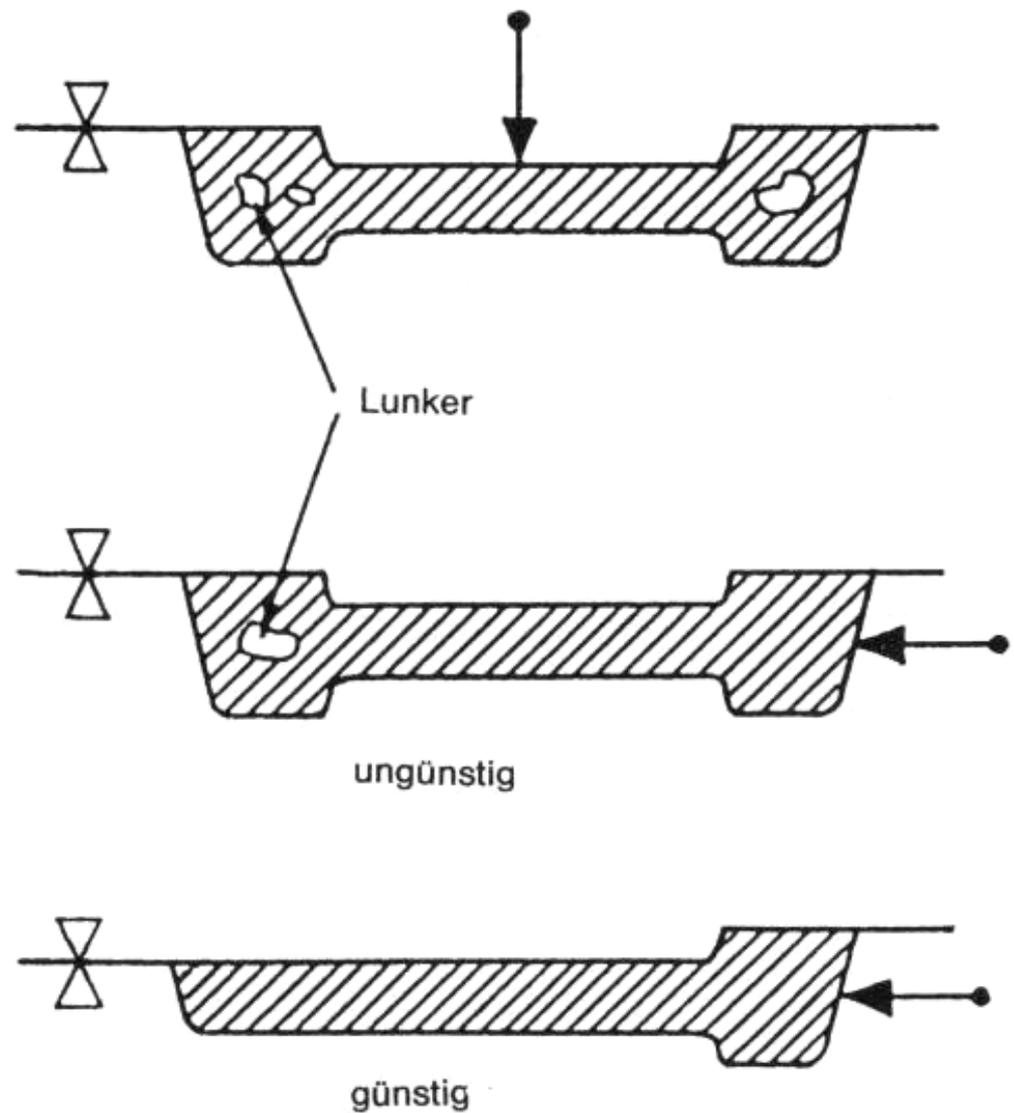
Ringanguss

- Schirmanguss:
Bohrung bleibt unbeschädigt



Angusslage

Angusslage an der dicksten Stelle des Formteils hilft Lunker vermeiden

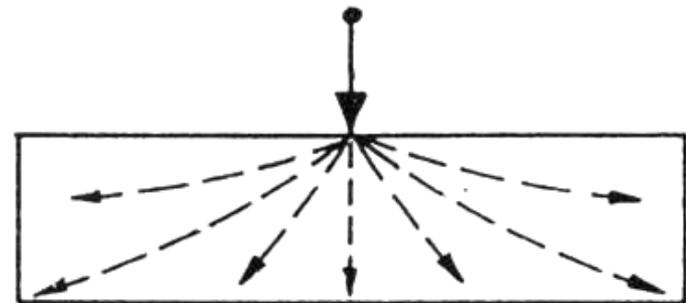


Angussarten

Fließfronten und Molekülerorientierungen beim Füllvorgang eines Spritzgussteils konstanter Wanddicke:

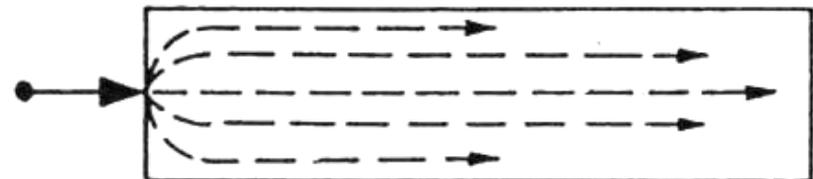
- Anguss an der Breitseite

Punktanguss



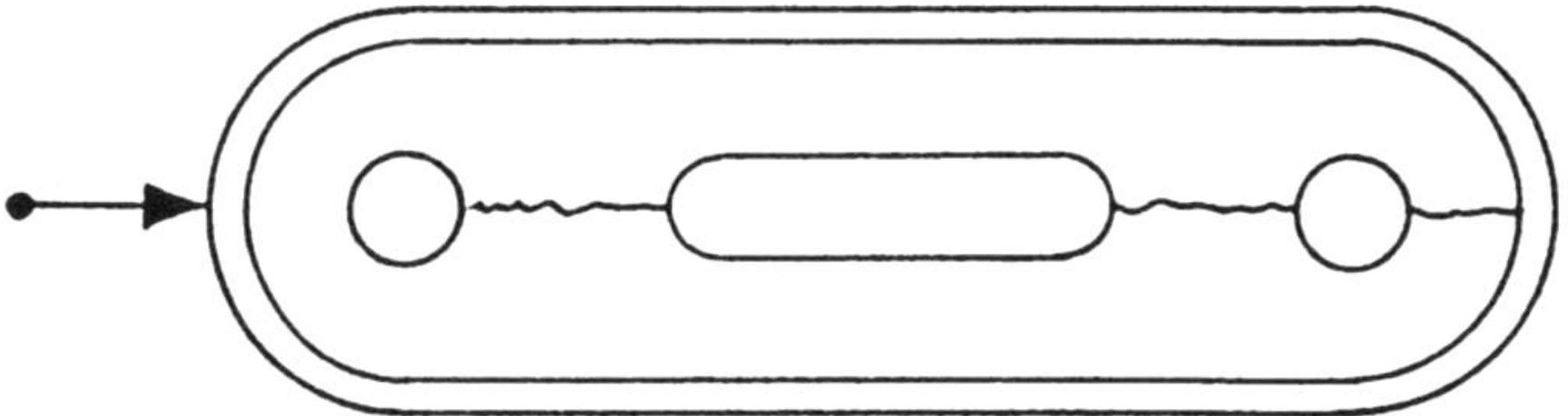
- Anguss an der Schmalseite

Band- oder Punktanguss



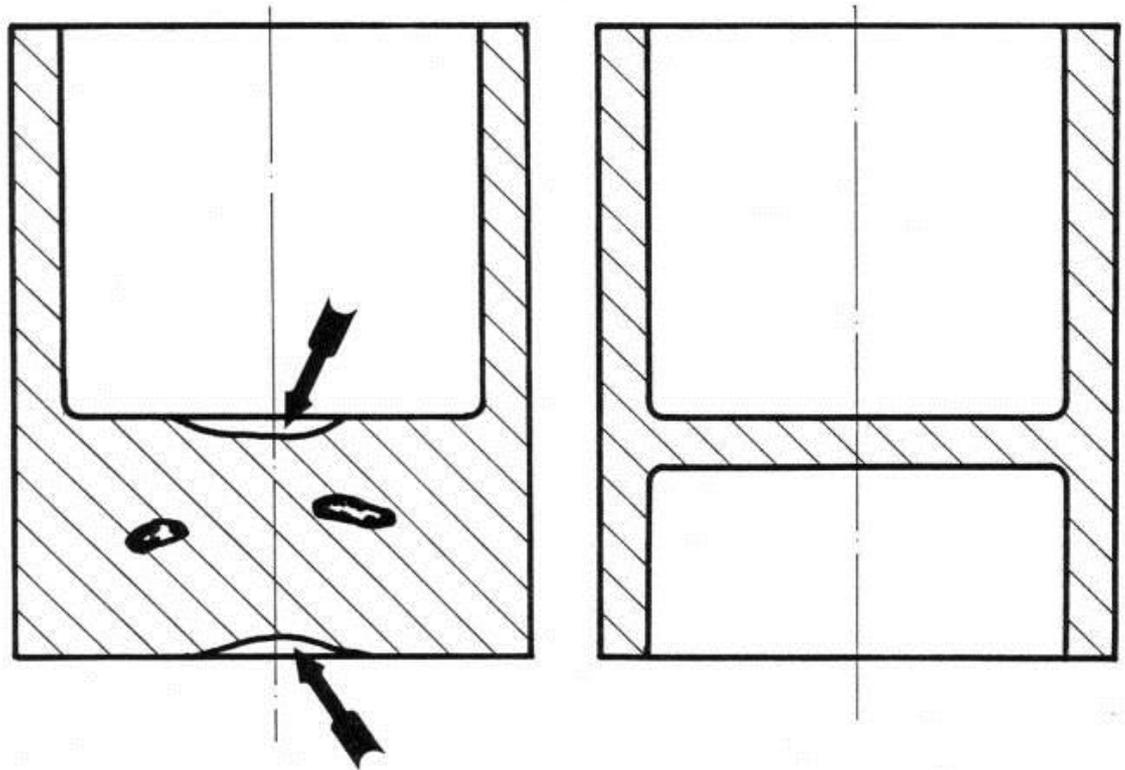
Bindenähte

Bindenaht hinter Löchern und Schlitzzen sind Schwachstellen



Lunker und Einfallstellen

Starke Materialanhäufungen und grobe Wändickenunterschiede führen zu Lunkerbildung und zu Einfallstellen (siehe Pfeile links). Die rechte Darstellung hat gleiche Wändicke.

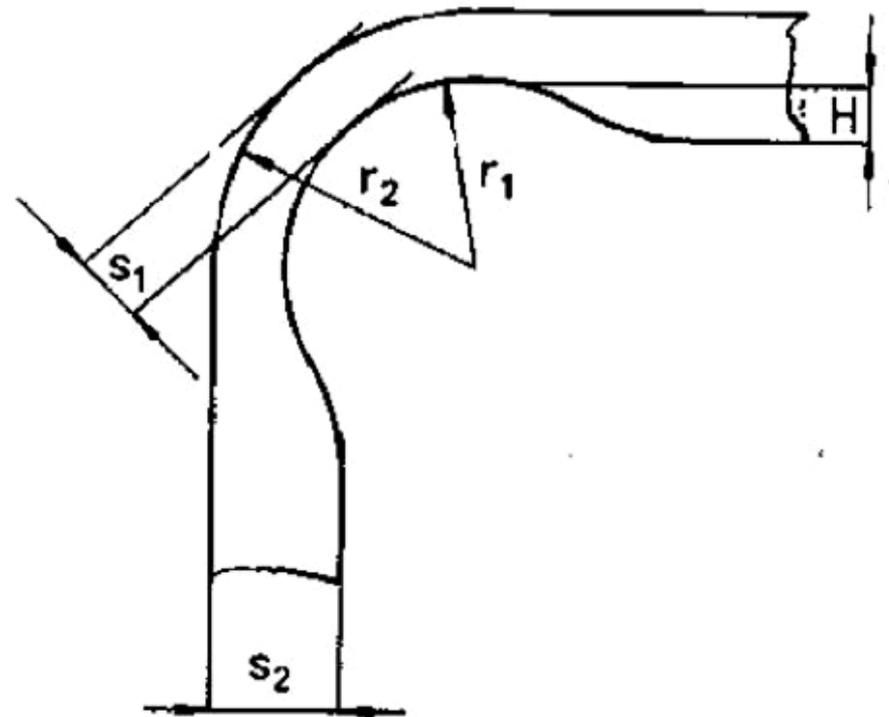
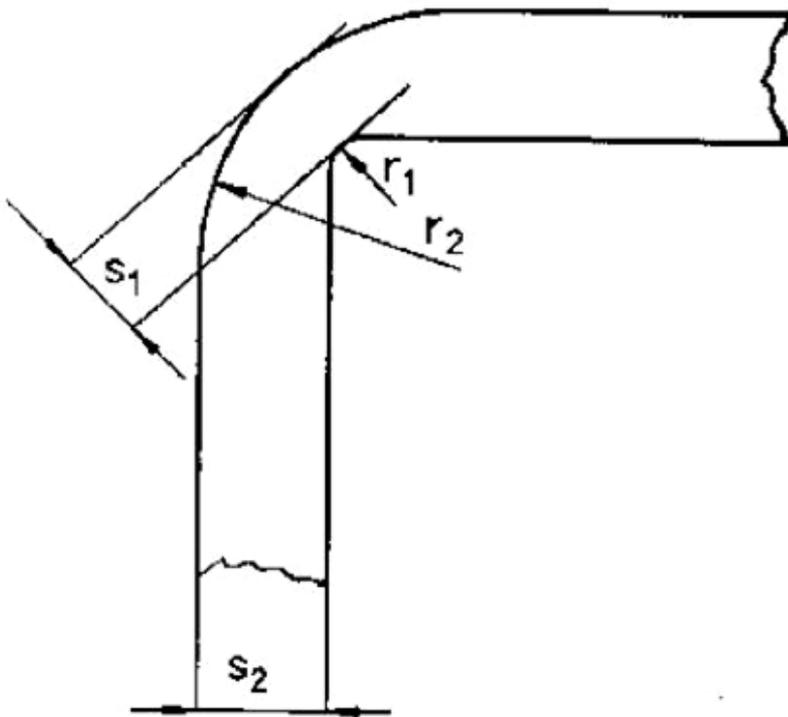


Gestaltungsgrundsätze von Spritzgießteilen

Elemente der Formteilgestaltung

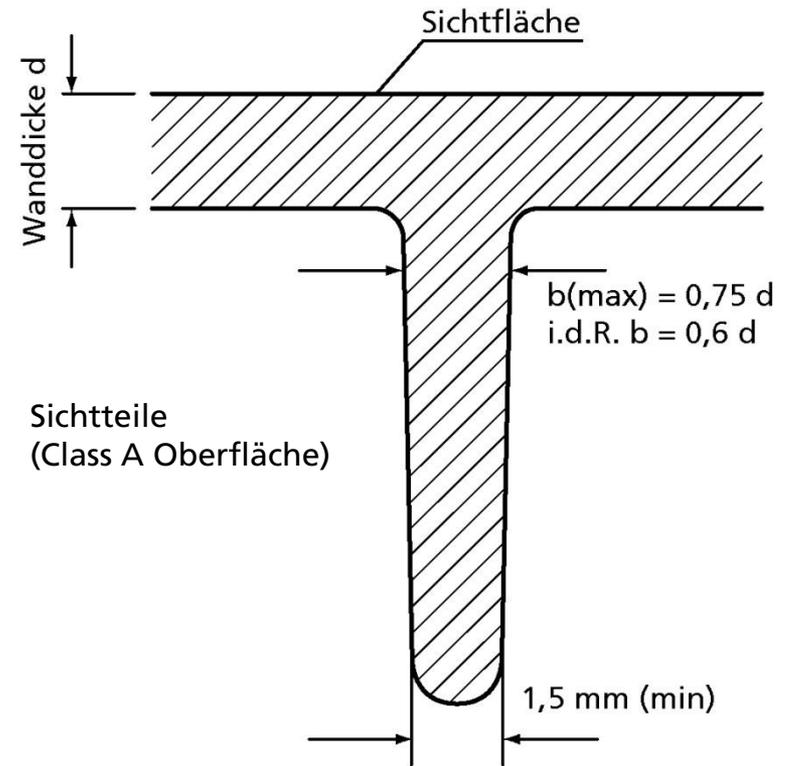
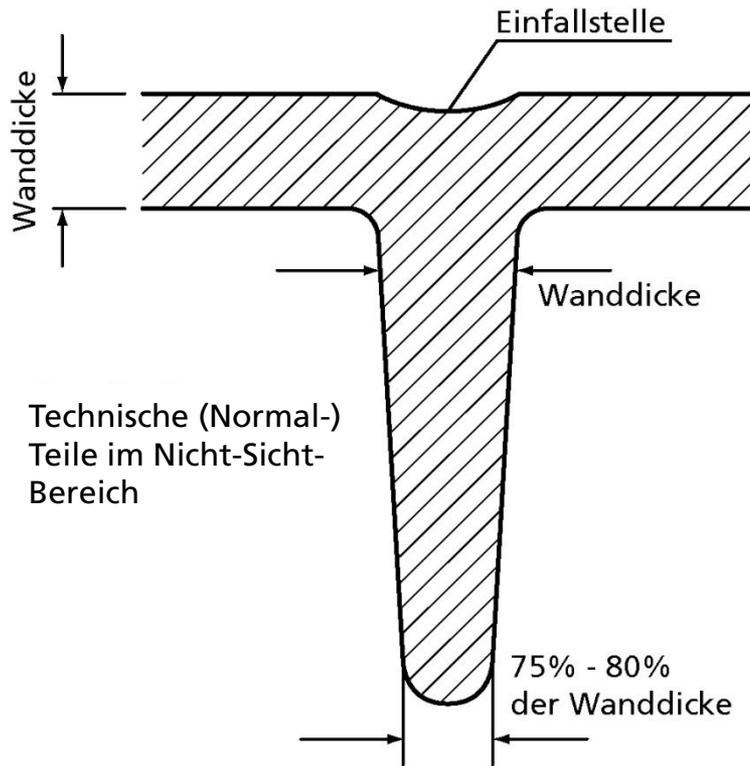
- Eckpartien und Winkel
 - Radien vorsehen
 - Winkelverzug vermeiden
- Rippen
 - richtig proportionieren
 - $Dicke_{Rippe} \leq 0,6 \cdot Dicke_{Formteil}$
 - Einfallstellen vermeiden
 - Masseanhäufungen vermeiden
- Standflächen
- Randpartien
- Augen
- Löcher und Aussparungen
- Gewinde

Spritzgussgerechte Gestaltung von Ecken



Gestaltung von Rippen und Wanddicken

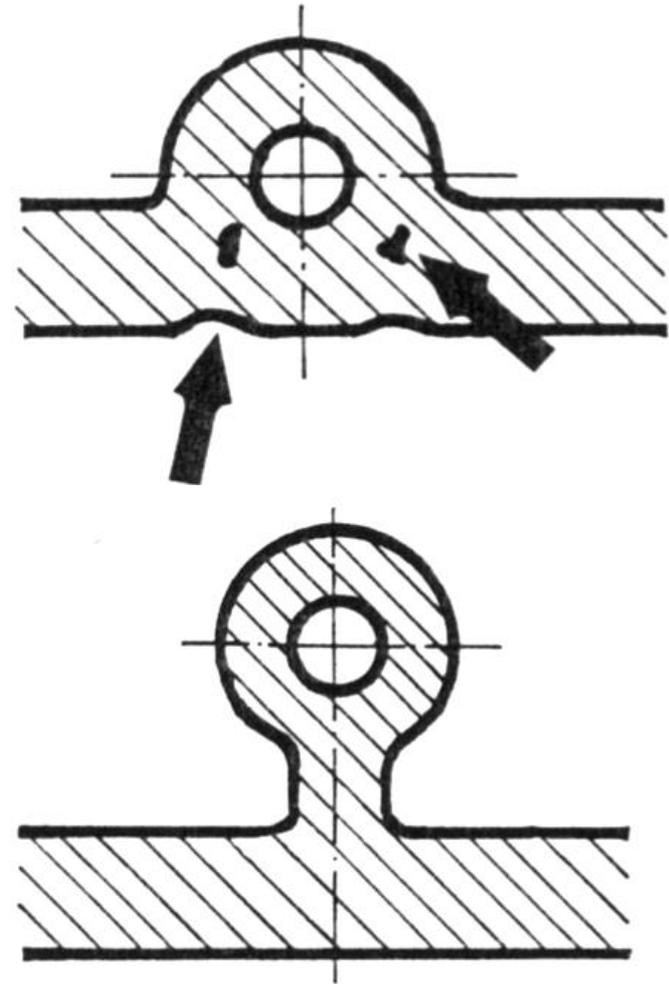
(nach Liebold/Ehnert/Harms)



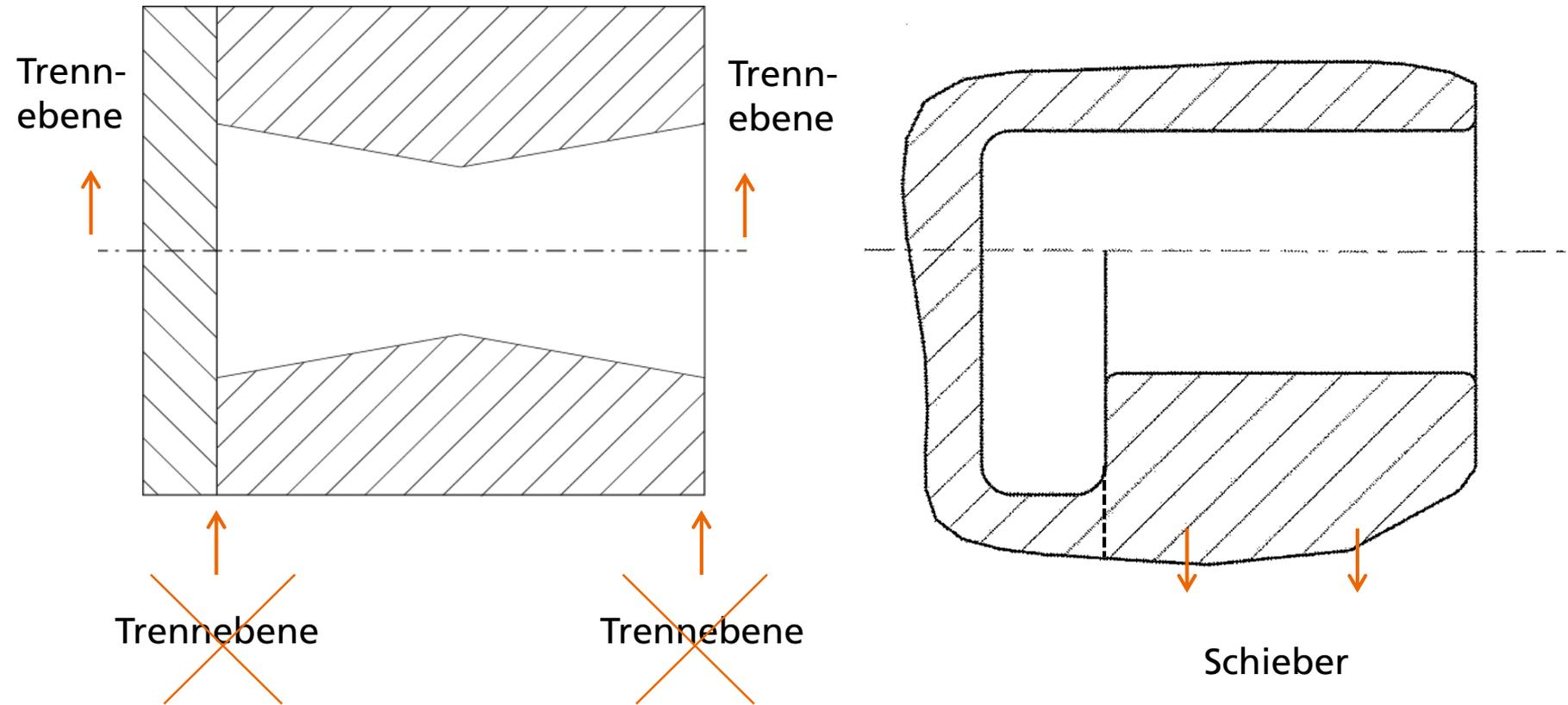
Augen

Werkstoffanhäufungen führen zu Lunkern und zu Einfallstellen an den Außenflächen (siehe Pfeile).

Durch Umkonstruktion können diese kritischen Stellen vermieden, oder wenigstens reduziert, werden (unten).



Hinterschneidungen



Gestaltungsregeln für Kunststoffbauteile

- Anguss an der dicksten Stelle (Nachdruck, Maßhaltigkeit)
- Wanddicke so dünn wie möglich auslegen (Zykluszeit)
- gleiche Wanddicken vorsehen (Zykluszeit, Eigenspannungen, Verzug)
- Masseanhäufungen vermeiden (Einfallstellen, Verzug)
- Ecken und Kanten mit Radien vorsehen (Dauerfestigkeit)
- Rippen spritzgießgerecht gestalten (Steifigkeit)
- Ebene Flächen vermeiden (Verzug, Maßhaltigkeit)
- ausreichende Konizitäten vorsehen (Entformbarkeit)
- Hinterschneidungen vermeiden (Entformbarkeit)
- keine genauere Bearbeitung als nötig vorsehen (Kosten)
- Zweckmäßige Werkzeugtrennlinie
- das Potential der Spritzgießverarbeitung ausschöpfen (Integration von Funktionen)

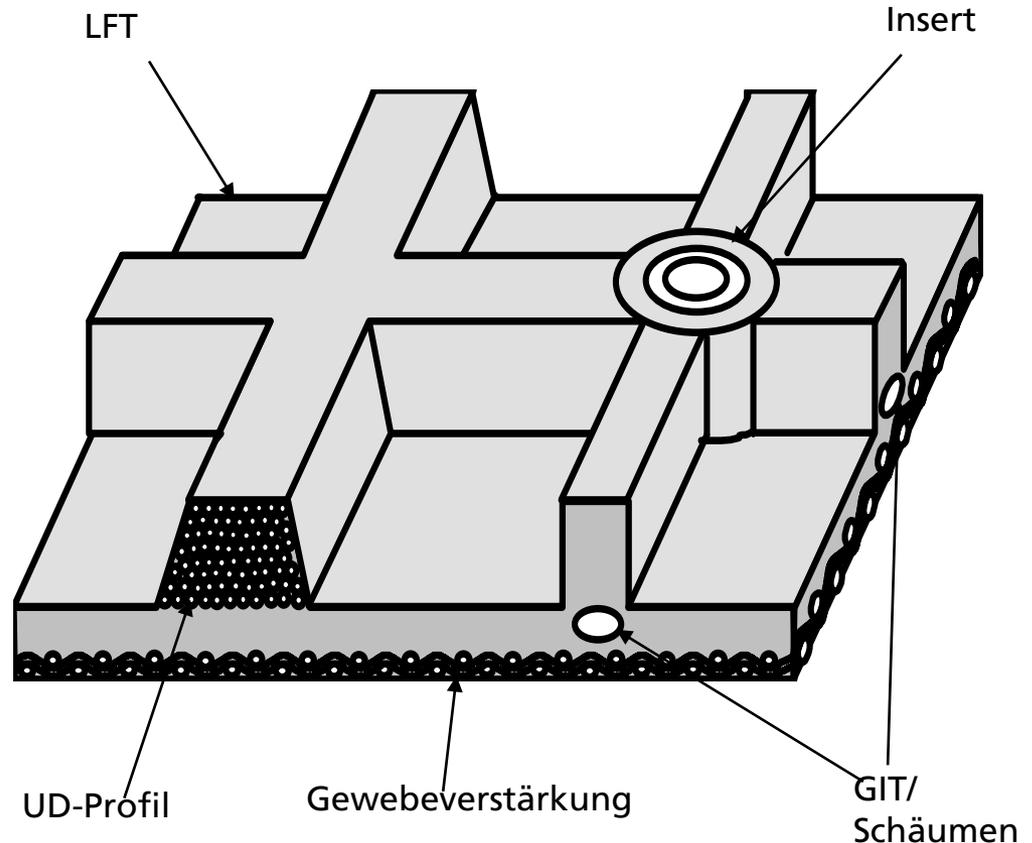
Gradientbauteile SMART PART

Leichtbau durch Tailored-Fibre-Placement

→ »SMART PART«

Effektiver Leichtbau durch den lastorientierten Einsatz von

- Thermoplastische Strukturen: GMT, LFT, LFT-D
- Thermoplastische Profile
- Textilverstärkte Thermoplaste
- GIT und Schäumtechnik



POLYMER ENGINEERING

Teil 1 am 18. Juni 2015

- Einführung
- Begriffsdefinitionen, Einteilungen
- Vergleich Metalle – Kunststoffe
 - Synthese, Struktur, Aufbauprinzipien
 - Eigenschaften von Kunststoffen
 - Verarbeitung von Kunststoffen
 - Verarbeitungseinflüsse

Teil 2 am 25. Juni 2015

- Gestalten von Kunststoffbauteilen
- **Anwendungsbeispiel Straßenleuchte**
- Biopolymere
- Recycling, Entsorgung
- Zusammenfassung zu Biopolymeren und Polymer Engineering

Schaden an PC-Leuchtschirmen

Lernziele

- Schadensanalyse (Systematik)
- Werkstoffauswahl (vertiefend in Gruppenarbeit)
 - bzgl. thermisch-mechanischer und chemischer Belastung
 - optischer Eigenschaften
 - Verarbeitbarkeit
- Lösungsfindung

Vorgeschichte Straßenleuchten

- Erweiterung einer 3 Jahre alten Fußgängerzone wird beschlossen
- In der Fußgängerzone (Bereich A) werden immer wieder die Glaskugeln der Straßenleuchten mutwillig (Steine, Schneebälle, ...) zerstört.
→ Gefahrpotential durch Glasscherben
- Beschluss Behörde: Im neuen Teil werden Leuchten mit PC-Kugeln installiert, im alten Teil die gesamten Glaskugeln ersetzt.
- Nach ca. 8 Wochen fallen im neuen Teil der Fußgängerzone die PC-Kugeln ohne äußere Einwirkung ab.



Schadensfall, Bestandsaufnahme

■ Augenschein

- Bruch ist immer an der gleichen Stelle
- kein Zerschneiden der Kugel, selbst nach Absturz aus 5 m Höhe
- öliger Belag im oberen Bereich der Kugel

■ Messungen

- Masse = 1,85 kg
- Wandstärke min. 1 mm
- Wandstärke max. 2,5 mm
- Temperaturen im Lampeninneren
- FTIR-Analyse des Belags

Temperaturen in der Kugelleuchte

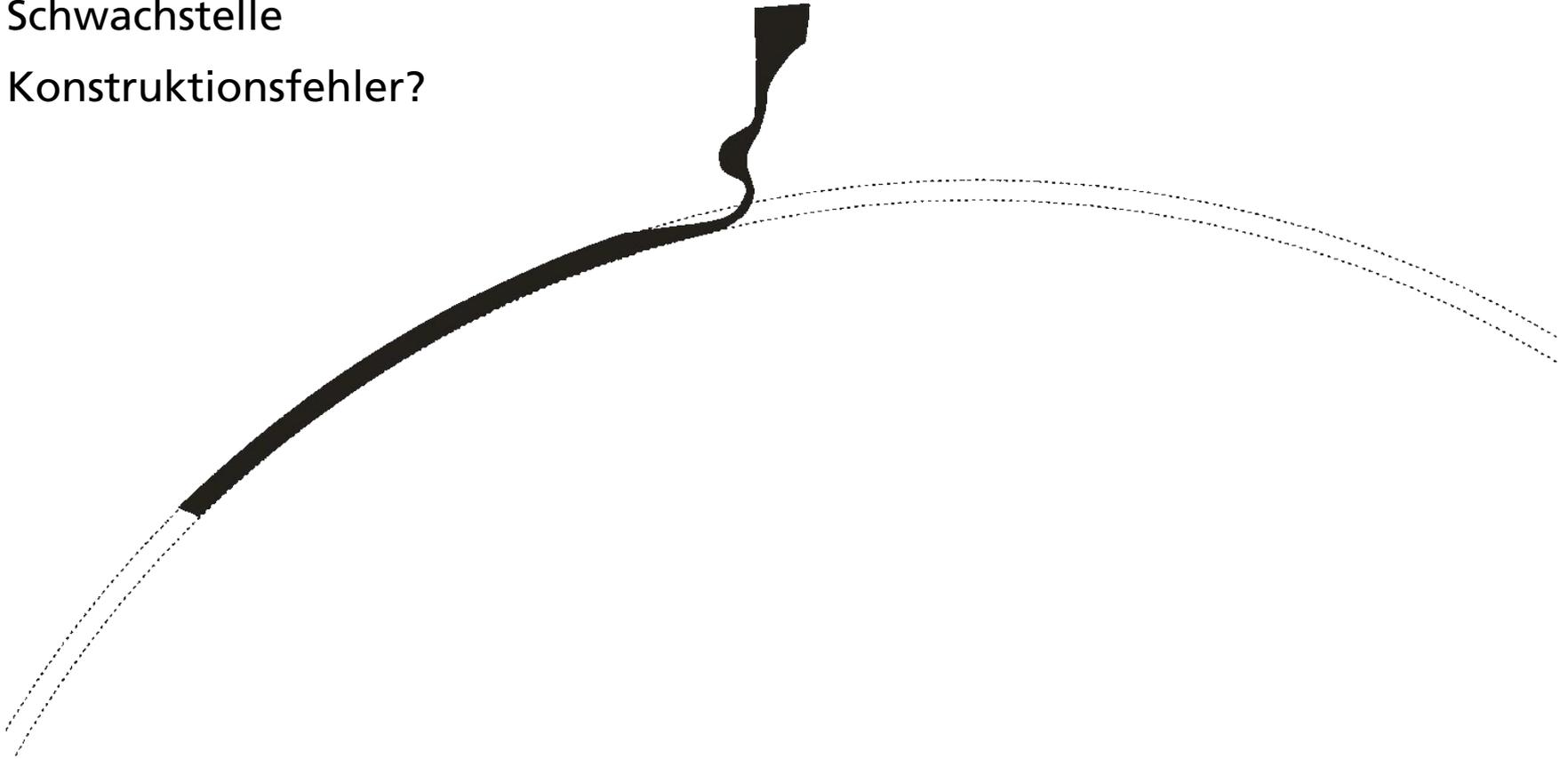
- Umgebungstemperatur: 23 °C

■ Messstelle	Max.-Temperatur in °C
Kunststoffgehäuse (PC)	126
Kabelisolierung (Weich-PVC)	110
Außenseite (Metall)	86

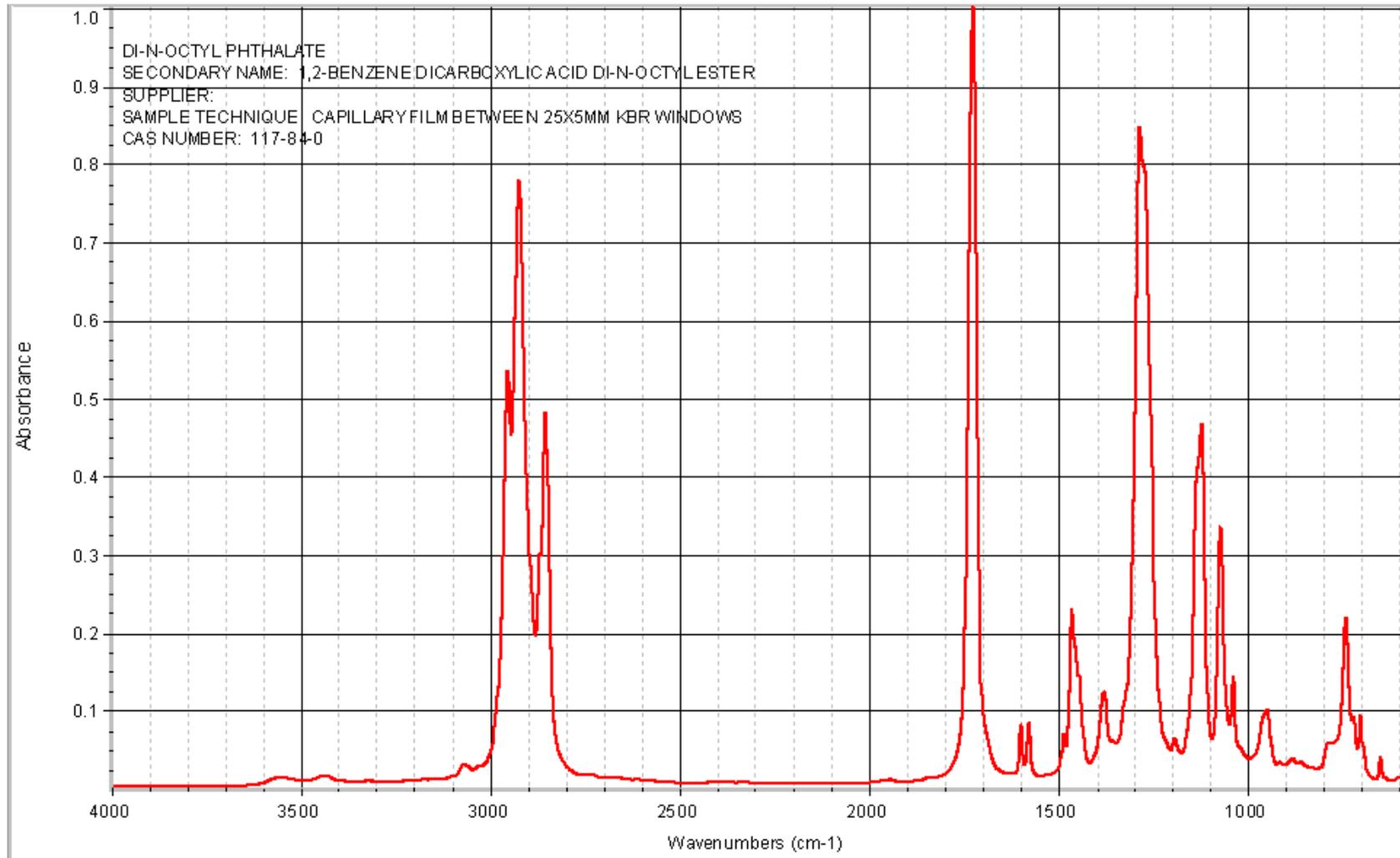


Annahme: Mechanische Überlastung

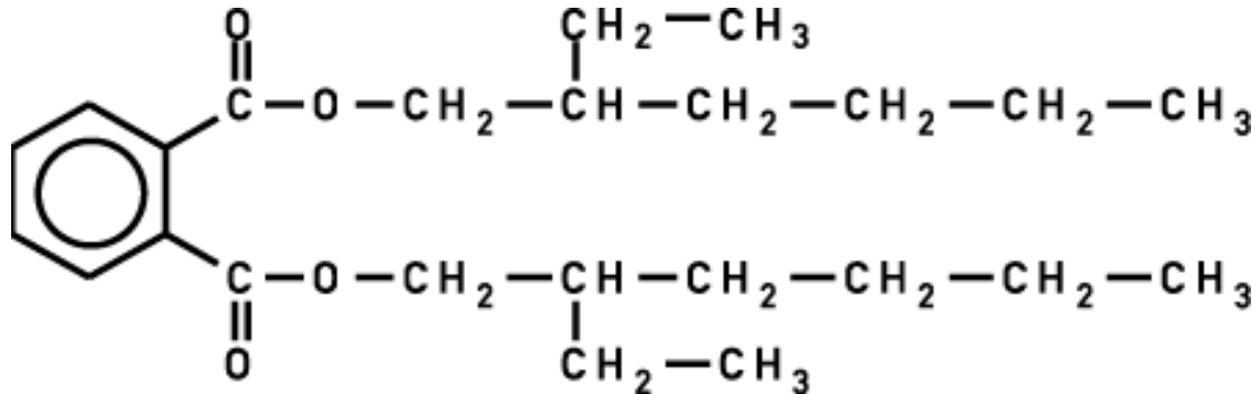
Schwachstelle
Konstruktionsfehler?



FTIR-Analyse des öligen Belags



Ergebnis der FTIR-Analyse



Strukturformel von DOP = Dioctylphthalat = (Di-[2-ethylhexyl-]phthalat)

Bei DOP handelt es sich um einen flüssigen Stoff, der mit PVC eine homogene Lösung eingeht. Diese Weichmachermoleküle lagern sich beim Lösen bei Temperaturen von ca. 150 - 190 °C zwischen die einzelnen PVC-Ketten. Sie wirken dabei wie ein Gleitmittel und erhöhen so die Kettenbeweglichkeit.

Spannungsrisssauslösung

Material	S	L	OX	Alc	K	E	Cl	KW	Aro	Sp
PE-LD	+	+	-	+	+Q	0Q	-Q	0	-Ql*	ja***
PE-HD	+	+	-	+	0	0	-Q	0	-Ql*	ja***
PP	+	+	-	+	0	0	-Q	0	-Ql*	ja***
PS	0	+	-	+Sp	-l	-l	-l	0	-l	ja
PMMA	0	0	-	0Sp	-l	-l	-l	+	-l	ja
PVC-U	+	+	0	+Sp	-Q	-Q	-Q	+	Q	gering
PVC-P	0	0	-	-Q**	Q ⁻ **	-Q**	-Q**	Q ⁻ **	-Q**	gering
POM	-	0	-	+	+	0	0	+	+	gering
PA 6,6	-	0	-	0	+	+	+	+	+	gering
PET	0	-	-	+	-	0Q	+Q	+	0	nein
PC	-	-	-	+Sp	-Q	-Q	-l	+	-Q	ja
CA	-	-	-	0	-Q	-Q	0Q	+	Q	gering

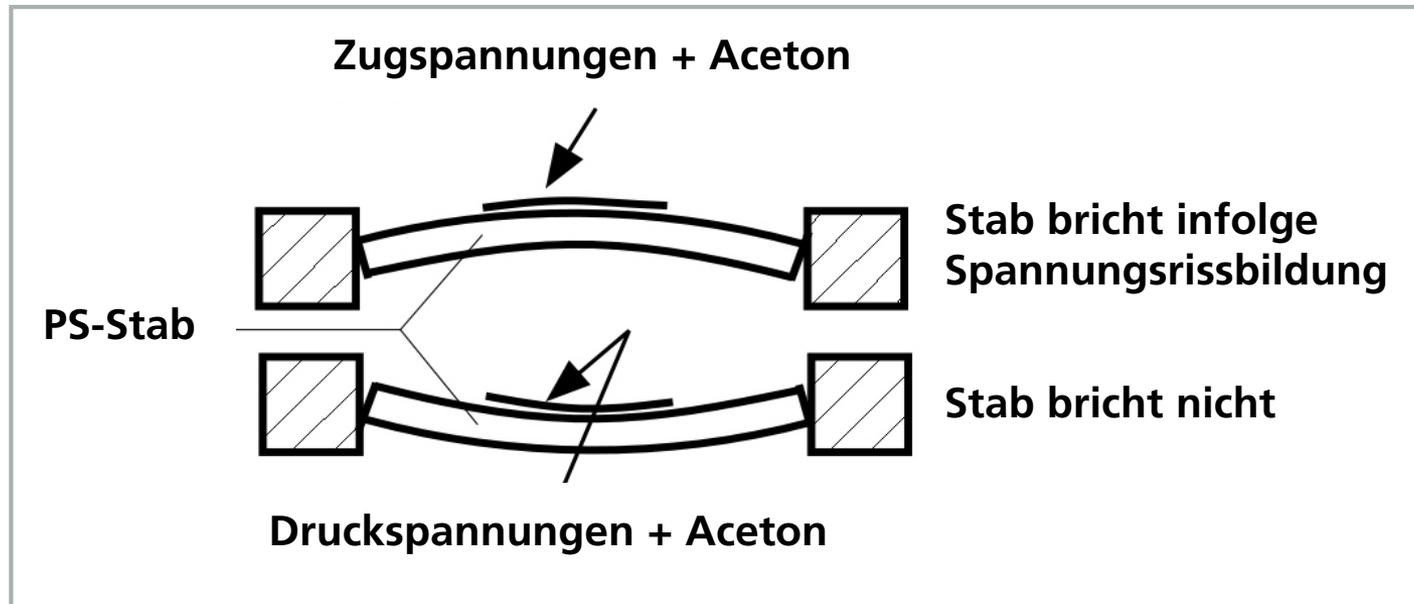
Chemikalien: **S** = Säuren, **L** = Laugen, **OX** = starke Oxidationsmittel, **Alc** = Alkohole, **K** = Ketone (Aceton, Methylethylketon), **E** = Ester (Essigsäureethylester), **Cl** = chlorierte Lösungsmittel (Methylenchlorid), **KW** = aliphatische Kohlenwasserstoffe (Pentan), **Aro** = aromatische Kohlenwasserstoffe (Toluol); Beständigkeit: **+** = beständig, **0** = mässig beständig, **-** = unbeständig, **Sp** = spannungsrisss-anfällig, **l** = löslich, **Q** = quellbar; * = bei hoher Temperatur, ** = Weichmacher herauslösbar, *** speziell oberflächenaktive Tenside aus Reinigungsmitteln

Versuch: Spannungsrissbildung

Spannungsrissbildung entsteht durch

1. Zugspannung, z. B. Eigenspannungen
2. Einwirkung von spannungsrissbildenden Medien
3. höhere Temperatur (verstärkt Spannungsrissbildung)

Versuch: Spannungsrissbildung





Lösungsansätze

1. PC mit reduzierter oder keiner Spannungsrissanfälligkeit:
Prinzip Risstopper
2. Temperaturreduktion
3. Anderes Isolationsmaterial (ohne Emissionen) für Kabel wählen

Plausibelste, kostengünstigste und nachhaltigste Lösung: 3

Zusammenfassung

- Bei der Werkstoffauswahl sind neben den thermisch-mechanischen Kenngrößen auch immer die Medieneinflüsse zu beachten.
- Sind die Daten beispielsweise für die Spannungsrissbeständigkeit bei Einwirkung unter erhöhten Temperaturen nicht bekannt, nutzt auch eine »Überdimensionierung« oder großzügige Auslegung der Sicherheitsfaktoren nichts.
- Eine durchdachte Werkstoffauswahl ist auch bei den vermeintlich unkritischen Bauteilen notwendig.
- PC-Bauteile, insbesondere wenn Transparenz gefordert ist, zeigen bei entsprechenden Medieneinflüssen fast immer das sog. »micro crazing«. Aber auch auf Schlagzähigkeit getrimmte Varianten vertragen nicht jedes Lösungsmittel.

POLYMER ENGINEERING

Teil 1 am 18. Juni 2015

- Einführung
- Begriffsdefinitionen, Einteilungen
- Vergleich Metalle – Kunststoffe
 - Synthese, Struktur, Aufbauprinzipien
 - Eigenschaften von Kunststoffen
 - Verarbeitung von Kunststoffen
 - Verarbeitungseinflüsse

Teil 2 am 25. Juni 2015

- Gestalten von Kunststoffbauteilen
- Anwendungsbeispiel Straßenleuchte
- **Biopolymere**
- Recycling, Entsorgung
- Zusammenfassung zu Biopolymeren und Polymer Engineering

Biopolymere: Rohstoffbasis für das 21. Jahrhundert

Kohle (bis 1950)



Erdöl / Erdgas (ab 1950)



Biomasse?



- Beim Übergang von Kohle auf Erdöl mussten viele chemische Verfahren neu entwickelt werden

- Was ist zu tun beim Übergang von Erdöl auf Biomasse?

»Offensichtlich geht man davon aus, dass alle notwendigen chemischen Methoden grundlegend bekannt sind und dass sie ohne Probleme auf Biomasse angewendet werden können. **Das ist ein Irrtum!**«

J. Metzger, Nachr. 4 (2003), 458

Biobasierte Produkte

Marktchancen und Anwendungspotentiale

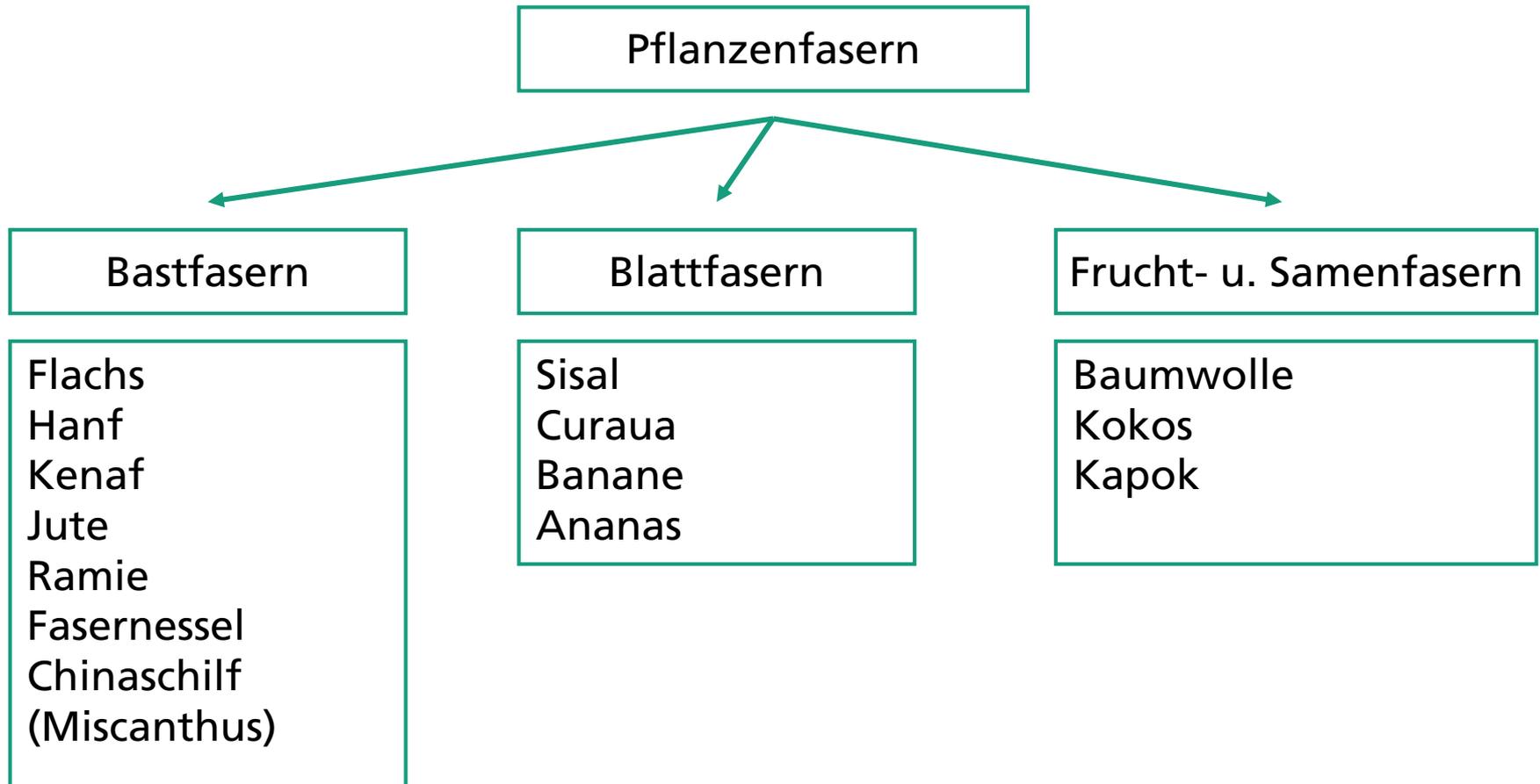
- Polymere
- Tenside
- Lösungsmittel
- Kraftstoffe
- Schmierstoffe
- Fasern



Rohstoffe

- Lignin
- Cellulose
- Hemicellulose
- Zucker
- Stärke
- Öle und Fette

Überblick über Naturfasern



Produkte aus Lignin-Compounds mit Naturfasern



Hinterspritzten

Thermischer
Ausdehnungs-
koeffizient von
Holz



keine Schwindung



Quelle: Fraunhofer ICT und Tecnar

Lignin – Werkstoff aus Abfall

Lignin-Sulfonat

60 Mio t pro Jahr
weltweit



Naturfasern

Flachs, Hanf, Sisal,
Bambus usw.

zum Vergleich:

derzeit 260 Mio t
Polymere p.a. weltweit

→ Polymer-Granulat → verarbeitbar im Spritzgussverfahren

Ergebnisse

- Kosten: 4 bis 6 Euro pro kg
- Eigenschaften: Verbundwerkstoff, vergleichbar mit glasfaserverstärkten Polyamiden (5 bis 8 Euro pro kg) oder ABS (2 bis 3 Euro pro kg)

Produkte (bereits am Markt)

- Innenausstattung in Automobilen
- Trägermatrix von Fensterrahmen und anderen Profilen
- Trägermaterial von Furnierholzmöbeln und Parkettböden, Musikinstrumente
- Uhrgehäuse, Essgeschirr, Golfties, Bestattungsurnen
- U.v.a.

POLYMER ENGINEERING

Teil 1 am 18. Juni 2015

- Einführung
- Begriffsdefinitionen, Einteilungen
- Vergleich Metalle – Kunststoffe
 - Synthese, Struktur, Aufbauprinzipien
 - Eigenschaften von Kunststoffen
 - Verarbeitung von Kunststoffen
 - Verarbeitungseinflüsse

Teil 2 am 25. Juni 2015

- Gestalten von Kunststoffbauteilen
- Anwendungsbeispiel Straßenleuchte
- Biopolymere
- **Recycling, Entsorgung**
- Zusammenfassung zu Biopolymeren und Polymer Engineering

Wiederverwertung, Recycling, Entsorgung

Metalle	Kunststoffe
Werkstoffliche Verwertung	
Stahl, Al, Pb, Zn, Cu, Ms u.v.a. (seit Jahrzehnten Stand der Technik)	<ul style="list-style-type: none">■ Umschmelzen; Thermoplaste (sofern nicht lackiert)■ Sonderfall GMT (glasmattenverstärkte Thermoplaste)■ Zerkleinern (Pulverisieren)
Rohstoffliche Verwertung	
	<ul style="list-style-type: none">■ Auflösen in Lösemittel (Thermoplaste)■ Hydrolyse (für Kunststoffe mit Heteroatomen in der Hauptkette)■ Alkohololyse (z. B. für Polyurethan)■ Hydrierung■ Pyrolyse & Destillation (Rückgewinnung der Syntheseprodukte)

Wiederverwertung, Recycling, Entsorgung

Metalle

Kunststoffe

Energierectycling

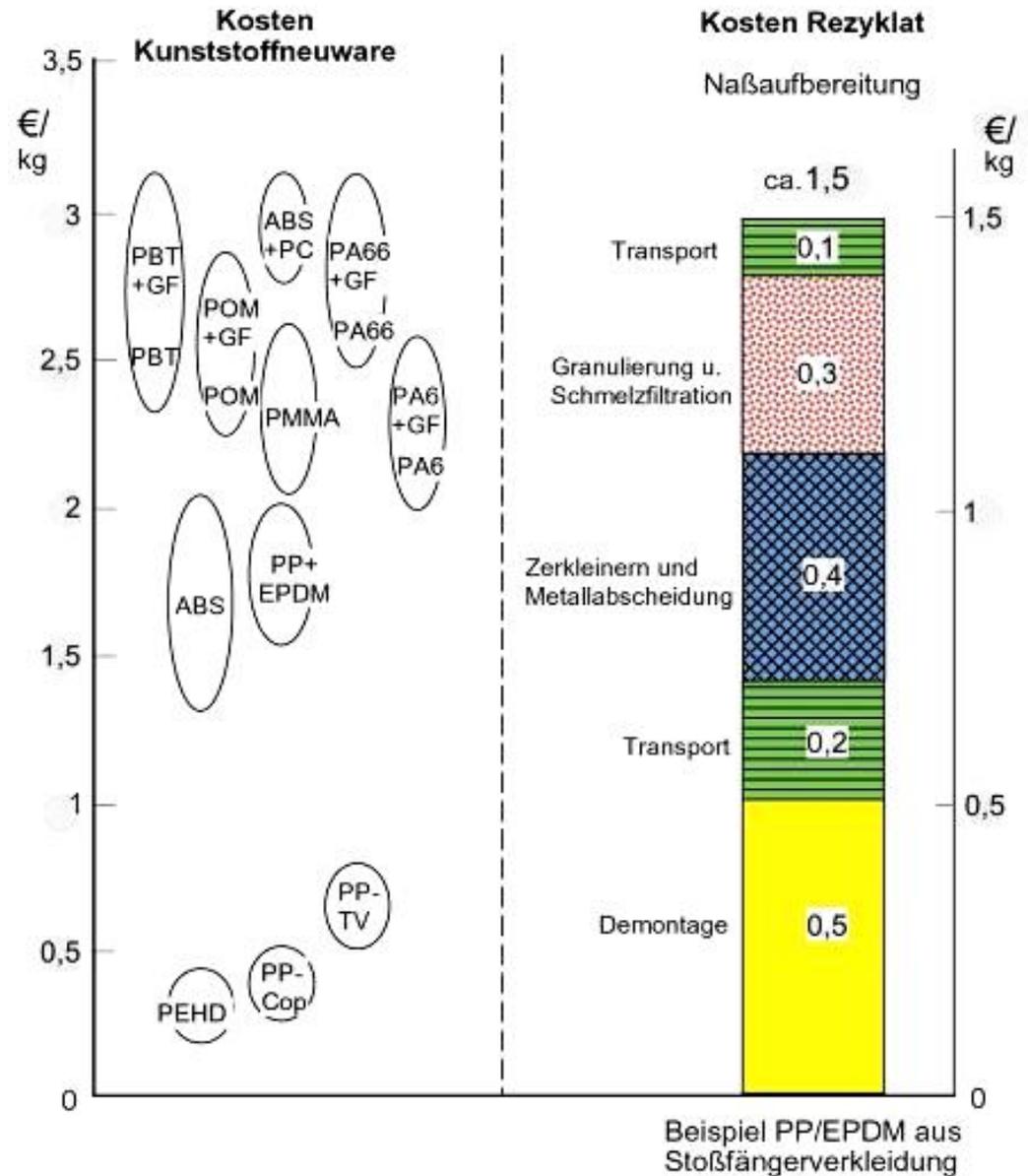
- Verbrennen in Anlagen mit Rauchgasentsorgung (Glasfasern als Schlacke auf Deponie)
- Energieverwendung als Fernwärme oder zur Stromerzeugung

Endlagerung auf Deponien

Für St, Cu und Al in der Regel unkritisch (Korrosion)

- je nach Kunststoff und Zusätzen kritisch
- Raumnot zwingt zu Recycling!
- seit der Akzeptanz des Verbrennens ist auch Raumnot nicht mehr dominant

Kostenvergleich: Neuware mit Rezyklaten aus Fahrzeugteilen



Energetische Demontage einer Spülmaschine/Waschmaschine



Energetische Demontage einer Spülmaschine/Waschmaschine



Nach der energetischen Demontage



POLYMER ENGINEERING

Teil 1 am 18. Juni 2015

- Einführung
- Begriffsdefinitionen, Einteilungen
- Vergleich Metalle – Kunststoffe
 - Synthese, Struktur, Aufbauprinzipien
 - Eigenschaften von Kunststoffen
 - Verarbeitung von Kunststoffen
 - Verarbeitungseinflüsse

Teil 2 am 25. Juni 2015

- Gestalten von Kunststoffbauteilen
- Anwendungsbeispiel Straßenleuchte
- Biopolymere
- Recycling, Entsorgung
- **Zusammenfassung zu Biopolymeren und Polymer Engineering**

Zusammenfassung zu biobasierten Roh- und Werkstoffen

- **Zunehmender Einsatz** von nachwachsenden Rohstoffen ist festzustellen.
- **Cellulose, Stärke, Bioethanol, Glycerin und Milchsäure** werden bereits im **technischen Maßstab** eingesetzt.
- Hoher **Funktionalisierungsgrad** der nachwachsenden Rohstoffe erfordert neue **Synthesestrategien**.
- Für die **Herstellung** von biobasierten Produkten gibt es verschiedene Wege.
- Die **Kopplung** von chemischen und biotechnologischen Prozessen ist sinnvoll.
- Großes **CO₂-Einsparpotential** bei der Verwendung von Lignocellulose und stofflicher Nutzung von Lignin, vor allem bei der Abfallverwertung
- Die **Syntheseleistung der Natur** sollte optimal ausgenutzt werden.
- Biobasierte Produkte bieten **interessante Eigenschaften**.

Zusammenfassung zu Polymer Engineering

- die Engineering-Sichtweise schafft **ganzheitliche Problemlösungen**
- Polymer Engineering bietet vielfältige **Integrationen von Funktionen** und damit hohe Wirtschaftlichkeit
- Faserverbund-Kunststoffe haben ein hohes **Leichtbaupotential** für die Großserie (Kostendruck)
- Kunststoffe erfordern **spezifische Kenntnisse**
- **Hybride Werkstoffkonstruktionen** haben beste Zukunftschancen
- **Fügetechniken** sind dazu weiter zu entwickeln

Werbung in eigener Sache!

Mitbetreuung von Studienarbeiten (Bachelor, Diplom, Dissertation) durch
Peter Eyerer

über IPEK und Fraunhofer ICT, Pfinztal

und

Offene Jugendwerkstatt Karlsruhe e.V., Grünwettersbach

Themen:

- -Polymer Engineering
- -Alu-Dosen-engineering
- -Thermoelektrischer Generator
- -Pedilec-Mobil

Bilder sagen mehr als 1000 Worte

Selbstständiges Arbeiten und
Lösen von Problemen für Morgen



Alt und jung gemeinsam
an einem Projekt!

Wissen ist nicht genug. Wie müssen Wissen anwenden können. Der Wille allein reicht nicht; wir müssen handeln. (Bruce Lee)

Das Projekt TEG

Beteiligte:

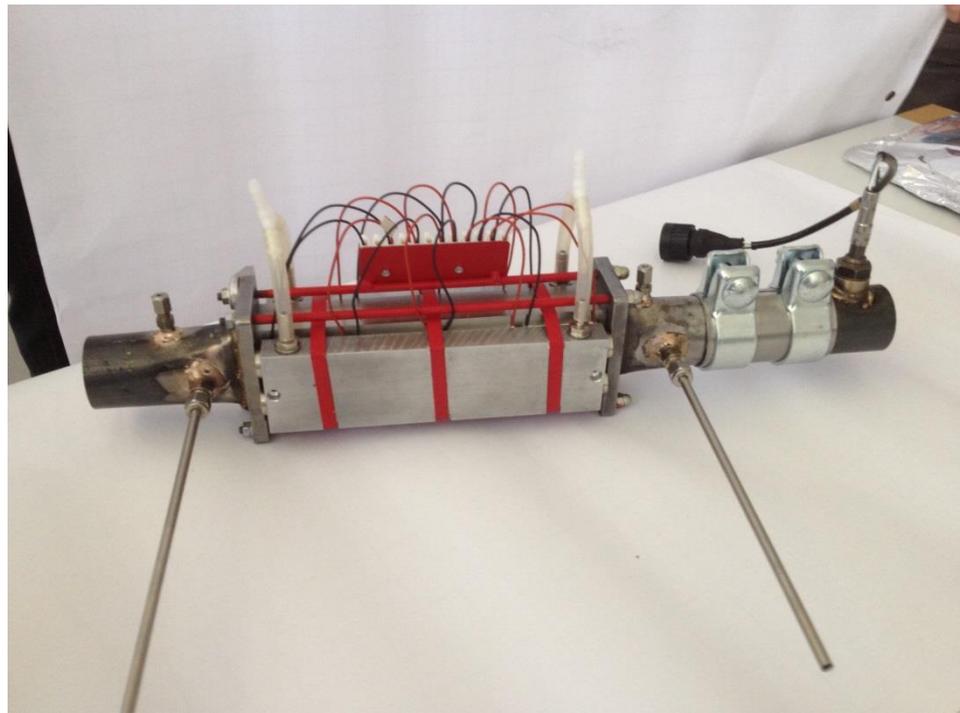
**12 SchülerInnen in der Science Academy Baden-Württemberg
(Hochbegabten Akademie, 14 Jahre alt)**

**10 SchülerInnen aus zwei Gymnasien (Goethe-Gymnasium Karlsruhe
und Goethe-Gymnasium Gaggenau, Seminarkurs Baden-
Württemberg, Klassenstufe 11)**



TEG aus BMBF Projekt Bildung für nachhaltige Entwicklung

8 TEM ergeben 64 Watt bei $\Delta T = 100^\circ \text{C}$



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Weitere Informationen finden Sie unter

- www.ict.fraunhofer.de
- www.lbpgabi.uni-stuttgart.de

- www.theo-prax.de
- www.theoprax-stiftung.de
- www.eyerer-peter.de
- www.offene-jugendwerkstatt.de



Quelle: welt.de